




FÖRKORTAD VÄGLIVSLÄNGD – ORSAKER OCH KOSTNADER

Utredning för Volvo Lastvagnar,
Mercedes Benz Sverige samt Sveriges Åkeriföretag

Reviderad slutrapport

2016-05-23, rev. 2017-06-28

Upprättad av: Johan Granlund och Johan Lang

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

FÖRKORTAD VÄGLIVSLÄNGD

– ORSAKER OCH KOSTNADER

KUNDER


AB Volvo
405 08 Göteborg

Mercedes-Benz Sverige AB
Lastbilar
Försäljning, Produkt & Marknad
Dockgatan 1
211 12 Malmö

Sveriges Åkeriföretag / AB Åkerikonsult
Box 7248
103 89 STOCKHOLM

KONSULT

WSP Sverige AB (WSP)
Teknikdalen/Forskarg. 3
781 70 Borlänge
Tel: +46 243 21 35 00
Fax: +46 10 7225790
WSP Sverige AB
Org. nr: 556057-4880
www.wspgroup.se

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

KONTAKTPERSONER

Kunder vid Volvo, Mercedes respektive Sveriges Åkeriföretag:

Mats Boll, mats.boll@volvo.com, +46 739 02 59 12

Mattias Nilsson, mattias.nilsson@daimler.com, +46 70 551 17 40


Mårten Johansson, marten.johansson@akeri.se, +46 70 671 13 85

Konsulter vid WSP:

Johan Granlund, johan.granlund@wspgroup.se, +46 70 33 75 388


Johan Lang, johan.lang@wspgroup.se, +46 70 385 82 55

Omslagsfoto: Svensk Åkeritidning


Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

INNEHÅLL


SUMMARY	7
SAMMANFATTNING	9
1. INTRODUKTION	11
Syftet är att öka förståelsen för orsaker till vägslitage	11
Målet är klokare samhällsekonomisk bedömning	11
Vetenskaplig metodik med praktiska insikter	11
2. KILOMETERSKATT ÄR INTE VÄGSLITAGEAVGIFT	12
3. VÄGNÄTETS TRAFIKARBETE OCH UNDERHÅLL	13
Studerat vägnät, transporter och trafikarbete	13
Vägunderhållets omfattning	13
Referenskostnad för vägslitage som orsakats av tung lastbilstrafik	15
4. ORSAKER TILL FÖRKORTAD VÄGLIVSLÄNGD	16
Landsvägars uppbyggnad	16
Vägens slitlager ska slitas	16
De flesta nedbrytningsmekanismer är inte trafiklastberoende	17
Dålig geometrisk vägutformning förkortar vägens livslängd	23
Vinterdrift med vägsalt förkortar vägens livslängd	24
Brister i dränering och tjälskydd förkortar vägens livslängd	25
Befintliga vägojämnheter ökar vägslitaget från lastbilar	25
5. LASTBILSSLITAGE BARA I ORDINARIE KÖRFÄLT	26
Lastbilars körfält är en tredjedel av motorvägens bredd	26
6. VÄGAR UNDERHÅLLS FÖR PERSONBILISM	28
7. SÅ SLITER EN LASTBIL PÅ VÄGKROPPEN	30
Tung belastning ger deformation och sprickor i svaga vägar	30
Övergripande samspel mellan tung lastbil och väg	30
Belastningens fem skalstorlekar	31
8. VÄGENS SLITAGE STYRS AV AXELLASTEN	33
Hög axellast ger högt kontaktryck och skadar därmed vägbanan	33
Fjärdepotensregeln för olika axelkonfigurationer	35

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

9. DÄCKEN PÅVERKAR VÄGSLITAGET	36
Däcktypen påverkar vägytan, axellasten påverkar längre ned	36
Med rätt lufttryck i lastbilarnas däck kan vägar jämnas till	36
Enkelmonterade breddäck ger stora nyttor	37
Samma spårtillväxt med breddäck eller parmonterade däck	38
Ny kunskap om däckens betydelse för klen byggda vägar	38
Kommentarer till den nya kunskapen om vägslitage från breddäck	39
Vägslitage från breddäck överdrivs regelmässigt	40
Parmonterade däck ger ökat vägslitage på ojämna vägar	41
Fjärdepotsregeln för olika däckkonfigurationer	41
Korrigeringsfaktorer till fjärdepotsregeln	42
10. VÄGSLITAGE PER FORDONSKOMBINATION	44
Sammanställning över fordonens vägslitage och vägstnader	45
Vägslitage på rejält dimensionerade vägkonstruktioner	46
Vägslitage på klen byggda vägar	47
Lastbilens vägslitagekostnad på rejält dimensionerade vägkonstruktioner	48
Lastbilens vägslitagekostnad på klen byggda vägar	49
11. BRUTTOVIKTEN SAKNAR BETYDELSE	50
Upp till 600 ton bruttovikt har inte skadat vägbanan	50
Vissa broar begränsar höga bruttovikter	51
12. SÅ FÖREBYGGS "NYA" TYPER AV VÄGSKADOR	52
Skavsår från däck som dras i sidled över vägytan	52
Undvik kolonnkörning med många axlar på lösjordssträckor	52
13. BESTÄMMELSER FÖR LASTBILARS VIKT	54
Sammanfattning av viktbestämmelserna för BK1	54
14. MINIMERING AV VÄGSLITAGET	55
Kör med många hjulaxlar och hög kvot nyttolast/tjänstevikt	55
Förebygg överlast på EU-semitrailers	56
15. ÖKNING TILL 74 TON KAN MINSKA VÄGSLITAGET	58
Vägslitage minskar, medan broslitage ökar	58
16. DÅLIG TAJMING ÖKAR KOSTNADERNA	59
Sena åtgärder ger flerfaldigt högre kostnad för vägunderhåll	59

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

17. DAGENS VÄGSLITAGE	61
Storstadsvägar i allt bättre skick	61
Data visar att i Sverige sliter 16 personbilar mer än 1 lastbil	62
18. BEHOV AV FORTSATT FORSKNING	63
19. SLUTSATS	64
20. ORDLISTA	68
21. REFERENSER	69
BILAGA 1 VÄGSLITAGEBERÄKNINGAR	71
Fordonskombination 1: 7.5 ton	71
Fordonskombination 2: 18 ton	71
Fordonskombination 3: 26 ton	72
Fordonskombination 4: 40 ton	73
Fordonskombination 5: 44 ton	74
Fordonskombination 6: 64 ton	75
Fordonskombination 7: 64 ton	76
Fordonskombination 8: 60 ton	77
Fordonskombination 9: 64 ton	78
Med enkelmonterade breddäck på trailern	78
Med parmonterade däck på trailern	79
Fordonskombination 10: 74 ton	80
Med enkelmonterade breddäck på trailern	80
Med parmonterade däck på trailern	81
Fordonskombination 11: 74 ton	82
Med enkelmonterade breddäck på trailern och släpvagnen	82
Med parmonterade däck på trailern och släpvagnen	83
BILAGA 2 BERÄKNING AV VÄGBELASTANDE TONKM	84

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

SUMMARY

The report's aim is to describe the societal benefits of various measures on both heavy vehicles and road infrastructure. The description compiles knowledge from scientifically valid credentials.

A recurring key message of this report is that contact pressure under tires is the most crucial vehicle factor to pavement wear from heavy trucks. The contact pressure is determined by the axle load, together with the axle and tire configurations as well as the tire pressure. The gross vehicle weight (GVW) is decisive for the load-dependent wear on bridges. For wear on road pavements and within the pavement, the GVW is of secondary importance; it is axle loads and the configurations of axles and of tires, together with tire pressure, that are the main properties for road wear caused by heavy vehicles.

Another key message is that shortened pavement life cycle depends on many factors other than traffic load. Climate, aging / oxidation, imperfections in the road construction and maintenance, as well as delayed maintenance are examples of factors that cause shortened pavement life cycle, regardless of differences in traffic load. A common mistake is that resurfacings are made without having uneven surfaces milled and filled into a planar foundation. The result is an asphalt layer with poor as-built compaction and thus high void content, leading to after-compaction and dramatic shortened road service life.

The report notes that maintenance costs for freeways should be reasonably high charged to passenger car drivers, as road width, number of lanes, maintenance standards, etc., are designed for passenger traffic up to 120 km/h. Moreover the leading reason to resurfacing on Swedish freeways is abrasion wear in the wheel paths, caused by studded winter tires on passenger cars.


Single mounted wide tires provide great advantages especially for semi-trailers on long haul. The advantages include lower unladen weight, up to 5 % lower rolling resistance, reduced tire costs, lower fuel consumption and lower emissions of CO₂ and NO_x than with dual mounted tires. Single mounted wide tires make it possible to build certain vehicles with a lower center of gravity and thus reduced rollover risk. Since wide single tires reduce the unsprung mass, they make it possible to build vehicles with considerably softer damping, which protects the driver, the vehicle and the road structure from malicious ride vibration.

The so-called fourth power law is widely used to distinguish between various types of heavy vehicles, concerning the cost of road wear they are causing. The average heavy vehicle combination in Sweden has 1.3 standard axles, i.e. the vehicle combination is considered to cause road degradation and wear cost equivalent to 1.3 ten-ton reference axles. The 4th power was determined in road tests on rather weak pavements built in the US in the late 1950s. Subsequent studies have indicated alternative powers in the range 1-8, depending on the pavement due and the type of road damage in focus.

A common but serious error in road wear analysis, is that stresses and strains under 10 ton axle load (50 kN wheel load) on dual mounted tires is compared with the same axle load on wide base tires. Wide base tires are regularly mounted on 8-ton axles or 9-ton axles, and thus carry 1 - 2 tons axle load less than the road wear calculations are erroneously assuming. Only few among all 385 mm standard width wide base tires are authorized to carry 5 tons (50 kN) wheel load; these heavy duty tires have advanced reinforcements and are much more expensive than regular wide base tires. This means that many road wear analysis of the difference between the tire configurations are irrelevant.

The European project COST 334 points at dual mounted wheels provide increased road wear when driving on roads that are already rutted and unevenly deformed (especially at different air pressure in the inner and outer tires). This is neglected in many studies of the difference in road wear between dual mounted tires and wide base tires, making the conclusions valid only for a small fraction of smooth sections (newly paved sections) of the road network.

To effectively meet the industry's need for heavy transports, taking into account the total road wear from all the truck runs together, it is important that vehicle road wear per ton payload is low. Sweden's traditional 60-ton rigs with 7 axles have an average load of 8.6 ton/axle. Due to the new Swedish load regulation per June 1, 2015, some of these rigs now have 64 ton total vehicle weight. This gives an

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

average load of 9.1 ton/axle. This is considerably higher than the 60-ton rigs and leading to higher road wear per run. Calculated per ton of payload, the road wear is not affected as much since the entire weight increase from 60 to 64 tons consisted of payload without increased unladen weight. With an extra axle, new 64 ton vehicles can reach an average load of 8.0 ton/axle, but at the cost of lower payload. When the expected raise to 74 ton GVW is allowed, most 74 ton rigs are expected to have either 9 or 11 axles. With 9 axles, a fully loaded 74-tonner will have an average load of only 8.2 ton/axle. The articulated 74 ton vehicle with 11 axles will reach as little as 6.7 ton/axle. Already these coarse calculations indicate that a 74-ton reform will reduce road wear, compared to transports using traditional Swedish 60-ton rigs.

In this study, road wear was calculated using a version of the 4th power law established by the Danish Road Directorate. This version allows analysis of the impact of various axle and tire configurations.

Results from detailed calculations for eleven vehicle combinations, show that road wear can be more than halved by changing the EU work horse on long-haul (two-axle tractor with semitrailer; total weight 40 ton), to European Modular System vehicles carrying considerably more goods (total weight of 60-74 ton) distributed on more axles and wheels.

The results show that compared with dual mounted tires, single wide tires yield between 13 % and 57 % higher road wear per ton payload, regarding properly built roads. Note that this applies only to roads with smooth surface, with equal air pressure in equal worn dual tires. The reason is that on worn roads with ruts and roughness, dual tires (particularly when having different air pressure or different diameter due to different wear) yield more road wear.


The lowest road wear per ton payload is achieved by 74-ton modular vehicles on well-built pavements. Vehicle combinations with 60 and 64 tons total weight wears as much, or more, on the pavement (calculated per ton payload), as 74 ton rigs. Regarding road wear, an EU-semitrailer rig with three-axle tractor unit is superior to the bad two-axle tractor unit, despite 4 tonnes higher total weight.

Especially the 40 ton EU-workhorse (semitrailer behind two-axle tractor unit) is easy to unintentionally overload on the drive axle, although acceptable GVW. Weigh-In-Motion measurements confirm that the frequency of overload on the drive axle is exceptionally high for this type of heavy vehicle combination. Replacing with a bogie axle prime mover would solve the drive overload. The results also show that road wear increases considerably (up to 50 %) on weak road constructions, compared the same transport on properly built roads. This shows the potential to reduce road wear by reinforcing undersized pavement structures.

This investigation came to a reference cost for road wear from heavy goods vehicles of 0.11 SEK/km*ESAL₁₀. From this reference and the vehicle combinations road wear factors, the cost for road wear for each vehicle type was calculated. The most important factor for road wear is the type of vehicle combination. The cost varies near tenfold, from 0.53 to 3.78 SEK/ton*100km. By far the highest road wear cost is caused by a heavily loaded small two-axle truck and of the 40 ton EU semitrailer with two axle tractor unit. All vehicle combinations with GVW of 44+ tons yield moderate road wear cost. The lowest road wear cost is given by a 74 ton vehicle combination.

Swedish data shows that a heavy truck wears as much on the pavement as what 16 passenger cars do, due to the extensive use of studded winter tires. This is a considerably less than what is sometimes described based on (invalid) calculations with the fourth power law, whereby the wear from a single truck is erroneously equated with up to 100 000 cars.

Allocation of cost responsibility for road maintenance between society, road users and other stakeholders should be based on sound economic principles. The economic benefits of using wide single tires instead of dual mounted tires were thoroughly examined by TFK in 1989, for roads built with 80 mm or 150 mm thick asphalt. The profitability of single mounted wide tires were found to be high on roads with asphalt 80 mm (medium traffic volume roads) and very high on roads with asphalt 150 mm (medium to high traffic volume roads). The Swedish Transport Administration's database PMSv3 shows that today it is very rare with less than 150 mm asphalt on the Swedish trunk road network. Thus, it seems very doubtful to limit the choice of tires with respect to single or pair mounting.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

SAMMANFATTNING

Rapportens mål är att beskriva samhällsnytta för olika förslag till åtgärder på såväl tunga fordon som på väginfrastruktur. Beskrivningen sammanställer kunskap från vetenskapligt välgrundade referenser.

Ett genomgående huvudbudskap i denna rapport är att kontaktrycket under däckerna är den fordonsfaktor som är mest avgörande för vägbanans slitage från tunga lastbilar. Kontaktrycket avgörs av axellasten tillsammans med axel- och däckkonfigurationerna samt av däckens lufttryck. Fordonens bruttovikt är avgörande för det lastberoende slitaget på vissa broar. För slitaget på vägens beläggning och på vägkroppen är bruttovikten av sekundär betydelse; det är axellaster och konfigurationer för axlar och däck samt däckens lufttryck som är de viktigaste fordonsegenskaperna för väglitaget.

Ett annat huvudbudskap är att förkortad väghållbarhet beror av många andra faktorer än trafikbelastningen. Klimat, åldring/oxidation, brister i vägens uppbyggnad och underhåll, allt för sent utförd underhåll är exempel på faktorer som ger förkortad väghållbarhet, oavsett skillnader i trafikens belastning. Ett mycket vanligt fel är att asfalt läggs utan att spårigt och ojämnt underlag har planfrästs eller förjusterats; resultatet är dålig packning och höga hålrumshalter, vilket leder till dramatisk förkortad livslängd. Ett vanligt byggfel på svenska landsvägar är att endast den grövsta fraktionen 11-16 mm är av specialsten från hårda bergarter, medan finballasten är av ortens mjukare sten. Den mjuka finballasten spräcks snabbt av bildäckens dubbar. Detta medför att vägytan i hjulspåren snabbt blir mycket skrovlig, varigenom trafikbullret, rullmotståndet samt mängden luftburna partiklar ökar.

I rapporten konstateras att underhållskostnaden för motorvägar rimligtvis ska fortsätta att i hög grad belasta personbilisterna, eftersom vägens bredd, antal körfält, underhållsstandard med mera, är utformade för personbilstrafik i upp till 120 km/tim. Dessutom utgörs den vanligaste orsaken till underhållsåtgärd av nötningsspår från personbilarnas dubbdäck. Det är därmed mycket stor skillnad på lastrelation och kostnadsrelation för vägunderhåll, när man jämför tung nyttotrafik och lätt personbilstrafik. Utredningen visar att tunga lastbilars väglitage kostar ca 0.11 kr/ESAL₁₀*km.


Enkelmonterade breddäck ger stora fördelar i synnerhet på semitrailers i fjärtransport. Till fördelarna hör lägre tjänstevikt, upp till 5 % lägre rullmotstånd, lägre däckkostnad, lägre drivmedelsförbrukning och lägre emissioner av CO₂ och NO_x än med parmonterade däck. Enkelmonterade breddäck gör det möjligt att bygga vissa fordon med lägre tyngdpunkt och ger bredare effektiv spårvidd. Detta medför minskad risk för vältolycka; en olyckstyp som extremt ofta ger svåra personskador och dödsfall. Enkelmonterade breddäck ger också lägre ofjädrad massa. Detta gör det möjligt att bygga fordon med betydligt mjukare dämpning, vilket skonar förare, fordon och vägkropp från skadlig färdvibration.

Den så kallade fjärdepotensregeln används för att särskilja slitagekostnad mellan olika typer av tunga fordon. Det genomsnittligt tunga ekipaget i Sverige har 1.3 standardaxlar, d.v.s. ekipaget anses orsaka vägnedbrytning och slitagekostnad motsvarande 1.3 tiotonsaxlar. Potensen 4 bestämdes i provvägsförsök på klena byggda vägar i USA i slutet av 1950-talet. Senare studier har pekat på potenser i intervallet 1 - 8, beroende på vägkonstruktion, undergrund och typ av vägskada.

Ett vanligt men allvarligt fel i vägtekniska analyser, är att vägpåkänning vid 10 ton axellast (50 kN hjullast) på parmonterade däck jämförs med samma axellast på enkelmonterade breddäck. Breddäck sitter regelmässigt på 8-tonsaxlar eller 9-tonsaxlar, och därmed bär 1 - 2 ton lägre axellast än vad de vägtekniska beräkningarna felaktigt utgår från. Bland breddäck med standardbredden 385 mm är endast ett fåtal godkända att bära så hög hjullast som 5 ton (50 kN). Detta innebär att många vägtekniska analyser av skillnad mellan däckkonfigurationer faktiskt saknar relevans.

EU-projektet COST 334 pekar på att dubbelmonterade däck ger ökat väglitage vid körning på vägar som redan är spåriga och ojämnt deformerade (i synnerhet vid olika lufttryck i inre respektive yttre däck). Detta är förbiset i många studier av skillnad i väglitage för olika däckkonfigurationer, vilket gör att slutsatserna enbart blir giltiga för en bråkdel jämna (nyasfalterade) sträckor på vägnätet.

För att effektivt möta näringslivets behov av tunga transporter, under beaktande av det totala väglitaget från alla lastbilskörningar tillsammans, är det viktigt att fordonens väglitage per ton nyttolast är lågt. Redan en översiktlig beräkning indikerar att kommande 74-tonsreform medför att

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

vägslitaget minskar, jämfört med transporter med traditionella svenska 60-tonsekipage. Sveriges traditionella 60-tonsekipage med 7 axlar har medelaxellast på 8.6 ton/axel. Vissa av dessa ekipage får sedan 1 juni 2015 köra 64 ton, vilket i medeltal ger 9.1 ton/axel. Detta är avsevärt högre än för 60-tonsekipagen och indikerar högre vägslitage per körning. Då hela viktökningen från 60 till 64 ton utgjorts av nyttolast utan att tjänstevikten ökat, påverkas inte vägslitage per ton nyttolast så mycket. Med en extra axel ger 64 ton en medelaxellast på 8.0 ton/axel, men detta till priset av lägre nyttolast. När 74 ton bruttolast tillåts, väntas de flesta ekipage ha endera 9 axlar eller 11 axlar. Med 9 axlar får fullastade 74-tonnare en medelaxellast på låga 8.2 ton/axel. Fordonskombinationen 74 ton på 11 axlar ger så lite som 6.7 ton/axel.

I denna utredning har vägslitage beräknats med en version av fjärdepotensregeln som etablerats av danska Vejdirektoratet. Denna version medger analys av inverkan från axel- och däckkonfigurationer.

Denna rapport inkluderar detaljerade beräkningar för elva fordonskombinationer. Resultaten visar att vägslitage kan mer än halveras genom att på fjärtransporter byta EU-semitrailer bakom tvåaxlad dragbil (totalvikt 40 ton), mot modulekipage som fraktar avsevärt mer gods (totalvikt 60 - 74 ton).

Resultaten visar att enkelmonterade breddäck ger högre vägslitage, jämfört med parmonterade däck. Beräkningarna visar ökning på mellan 13 % och 57 % på normalt välbyggda vägar i bärighetsklass BK1. Observera att detta gäller enbart medan vägbanan är jämn. Orsaken är att på ojämn väg kan parmonterade däck (i synnerhet om tvillingdäcken har olika lufttryck eller är olika slitna så diametern blivit olika) tvärtom slita mer än enkelmonterade breddäck, enligt COST 334.

Allra lägst vägslitage per ton nyttolast fås med 74-ton ekipage på välbyggda vägar. Fordonskombinationerna med 60 respektive 64 ton totalvikt sliter mer på vägarna än 74 ton ekipagen, räknat per ton nyttolast. I vägslitagesynvinkel är semitrailerekipage med treaxlad dragbil, trots 4 ton högre totalvikt, helt överlägset tvåaxlad dragbil.


Särskilt för fordonskombinationen EU-semitrailer bakom tvåaxlad dragbil är det lätt att oavsiktligt skapa överlast på drivaxeln, trots att ekipaget som helhet inte har bruttovikt-överlast. Frekvensen av överlast på axel är därför exceptionellt hög för denna typ av fordonskombination.

Resultaten visar också att för given trafiklast ökar vägslitage kraftigt (upp emot 50 %) på underdimensionerade vägar, jämfört med på rejält dimensionerade vägkonstruktioner. Detta visar potentialen för att minska vägslitage genom att förstärka tungt trafikerade, men klen byggda, vägsträckor.

Utredningen kom fram till en referenskostnad för tunga lastbils väglitage på 0.11 kr/ESAL₁₀*km. Med den referensen och fordonskombinationernas väglitage beräknades ekipagens väglitagekostnad. Lastbilstypen är den faktor som påverkar vägunderhållskostnaden mest. Kostnaden varierar nära tiofaldigt, från 0.53 till 3.78 kr/ton*100km, för olika typer av ekipage. I särklass högst väglitagekostnad orsakas av tungt lastad 18 tons tvåaxlig lastbil samt 40 tons EU-semitrailer med tvåaxlig dragbil. Alla ekipage med bruttovikt minst 44 ton ger måttlig väglitagekostnad per ton*100km. Av fordonen med mer än 3.5 ton lastkapacitet ges allra lägst väglitagekostnad av ett 74 tons ekipage.

Svenska mätdata visar att en tung lastbil orsakar lika mycket slitagekostnad på statliga vägar som vad 16 personbilar gör, på grund av slitaget från personbilsflottans dubbade vinterdäck. Detta är avsevärt mindre skillnad i kostnad än vad som ibland (felaktigt) beskrivits utifrån beräkningar med fjärdepotensregeln, varvid vägslitage från en enda lastbil felaktigt jämförts med upp till 100 000 bilar.

Fördelning av kostnadsansvar för vägunderhåll mellan samhälle, väganvändare och andra intressenter bör ske utifrån sunda ekonomiska principer. Den samhällsekonomiska vinsten av att använda breddäck i stället för parmonterade däck undersöktes grundligt av TFK år 1989, för vägar byggda med 80 mm alternativt 150 mm asfalt. Lönsamheten med enkelmonterade breddäck konstaterades vara hög på vägar med 80 mm asfalt (medeltrafikerade vägar) och mycket hög på vägar med 150 mm asfalt (medel till högtrafikerade vägar). Beläggningsregistret i Trafikverkets databas PMSv3 visar att det idag är mycket sällsynt med tunnare än 150 mm asfalt på svenska stamvägar. Därmed framstår det mycket tveksamt att begränsa valet av däck när det gäller enkel- eller parmontering.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

1. INTRODUKTION

Transportnäringen i Sverige vill medverka till en faktabaserad dialog med regeringens utredare, vilken i december 2016 ska rapportera hur en vägslitageskatt för tunga fordon kan utformas. Vägar är byggda för att användas, och vägtransporter orsakar inte bara kostnader utan ger också samhällsnytta som måste vägas in för att få ett helhetsperspektiv. Transportnäringen vill därför sammanställa kunskap om orsaker till oavsiktligt förkortad väglivslängd* samt därtill förknippad ökning av livstidskostnader för vägunderhåll.

** I denna skrift används begreppet "förkortad väglivslängd" synonymt med ordet vägslitage. Detta tydliggör att inte bara slitage/nötning från dubbade personbilsdäck, utan även vägsador som deformation, utmattning, åldring, stensläpp och sprickbildning inkluderas. Skriftens fokus ligger på sådana vägsador som medför förkortat tidsintervall till dess att nästa underhålls- eller förstärkningsåtgärd behöver utföras.*

Syftet är att öka förståelsen för orsaker till vägslitage

Skriften ska ge läsarna, i första hand beslutsfattare men också alla som betalar skatter och avgifter, ökad förståelse för orsakssammanhang om förkortad livslängd för väginfrastruktur, inklusive hur vägslitage och nedbrytning av väginfrastruktur uppstår.

Fördelning av kostnadsansvar bör baseras så att den som orsakar kostnader också betalar sin andel av kostnaderna.


Målet är klokare samhällsekonomisk bedömning

Fördelning av kostnadsansvar för vägunderhåll mellan samhälle, väganvändare och andra intressenter bör ske utifrån god förankring i vetenskapliga grunder och sunda ekonomiska principer. Därför ska en nytto-/kostnadsanalys utföras, avseende åtgärder som förebygger förkortad livslängd på väginfrastruktur. Målsättningen är att ge en god samhällsekonomisk bedömningsgrund för olika förslag till åtgärder på såväl tunga fordon (t.ex. totalvikt, axellast, typ av däck) som på väginfrastruktur (t.ex. förstärkningsåtgärder).

Vetenskaplig metodik med praktiska insikter

Utredningen ska med ett vetenskapligt förhållningssätt sammanställa kunskap om orsaker till förkortad väglivslängd. Vägslitaget ska presenteras som dels beroende av tid, dels beroende av trafiklast. Det vägslitage som tung lastbilstrafik orsakar, ska presenteras i relativa tal per ton transporterat gods vid användning av olika fordonstyper.

Begreppet tidsberoende vägslitage kommer från praktiska insikter. Det inkluderar sådant som inverkan av brister i vägförvaltningen (planering, projektering, genomförande, tajming osv). Med tajming menas här den vanligt förekommande situationen att vägen inte repareras i rätt tid, pga. resursbrist (kapitalknapphet) hos väghållaren. Vägunderhåll i rätt tid kan göras till lägre kostnad, än om vägen åtgärdas för sent. Får vägen brytas ned ett eller ett par år till, krävs ofta flerfaldigt dyrare reparation utan att vare sig skick efter åtgärd eller tid till nästa underhålls- eller förstärkningsåtgärd förbättras. Därmed kan det vara samhällsekonomiskt lönsamt med kortare åtgärdsintervall än idag. Dålig tajming pga. kapitalknapphet innebär därför kraftigt fördröjd vägförvaltning, och sämre vägar att åka på med ökade trafiksäkerhetsrisker under tiden innan en brist hinner åtgärdas. Denna typ av samhällskostnad är inte orsakad av trafiken.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

2. KILOMETERSKATT ÄR INTE VÄGSLITAGEAVGIFT

Välfärdsekonomin har två grundläggande teorem, vilka etablerades av nationalekonomen och nobelpristagaren Kenneth Arrow. Det första välfärdsteoremet säger ett ekonomiskt system karakteriserat av fri konkurrens och fungerande marknad ger jämvikter som är effektiva. D.v.s. fungerande marknader som får sköta sig själva leder till ett effektivt samhälle. Det andra välfärdsteoremet säger att resursfördelningen dessutom kan bli rättvis, om staten kan påverka den initiala allokeringen. Om utgångsförutsättningen är rättvis, kommer marknaden själv att skapa en rättvis fördelning så länge den inte regleras och i övrigt är välfungerande.

Fördelningspolitik går ut på att, mer eller mindre ideologiskt, förändra skillnader i tillgångar. Detta kan å ena sidan öka rättvisan, å andra sidan rubba jämvikter och minska effektiviteten.

Om syftet är att använda samhällets resurser effektivt, bör dessa tre normativa principer följas (källa: föreläsning av ek. prof. J-E Nilsson vid Transportforum 2016):

1. I enlighet med första välfärdsteoremet ska **avgifter** (t ex för att använda infrastruktur) enbart täcka samhällets kostnad för den givna prestationen; marginalkostnadsprissättning av effektivitetsskäl.
2. Om staten vill ha större intäkter än kostnadstäckning, **beskatta** då de varor & tjänster som är minst priskänsliga (generaliserad Ramsey-prissättning).
3. Undvik beskattning av handel **mellan** företag (Diamond - Mirlees teorem).

Marginalkostnadsprissättning innebär att det ska vara dyrare att använda fordon som sliter mer på det allmänna vägnätet. (Här uppstår en utmaning i att inte beskatta trafik på enskilda vägnät som inte uppbär statlig ersättning för att vara upplåtna för allmän trafik, t.ex. de flesta skogsbilvägar).

Kilometerskatt kommer att öka kostnaden, så att tillverkning eller användning av produkter tenderar flyttas från perifera regioner eller helt enkelt läggas ned. Låga vinstmarginaler innebär att även små kostnadsökningar kan få stora konsekvenser.


I likhet med tekniska regler, kan kilometerskatt komma att medföra att åkare väljer fordon med fler axlar och skonsammare däck som minskar slitaget på vägarna.

Socialdemokraterna¹, Miljöpartiet² och Vänsterpartiet³ är förespråkare av att införa en särskild vägslitageskatt för tunga lastbilar, och har lagt olika förslag på detta. Nivån på skatten ska enligt SIKAs (idag: Trafikanalys) beräkningar vara kring 1.4 kr/km, d.v.s. 14 kr/mil. Detta antas ge omkring 4 Mdr/år i skatteintäkt. Denna utredning visar att nämnda skatteintäkt flerfaldigt överstiger kostnaden för vägslitage från tunga lastbilar. Därmed är det fråga om en finansiell beskattning, snarare än en vägslitageavgift. Sådan beskattning står i strid med Diamond - Mirlees teorem, se punkt 3 ovan.

¹ http://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/motion/med-anledning-av-skr-201314233_H102T16

² <http://www.mp.se/politik/valmanifest2014#1>

³ <http://www.vansterpartiet.se/assets/Klimatrapport-V-2012.pdf>

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

3. VÄGNÄTETS TRAFIKARBETE OCH UNDERHÅLL

Studerat vägnät, transporter och trafikarbete

Trafikarbetet på svenska vägar är idag ca 80 miljarder fordonskilometer. Av detta utförs 5 % av stora lastbilar, d.v.s. lastbilar tyngre än 16 ton⁴.

Transportbranschens omsättning uppvisar hög korrelation med BNP, men ökar snabbare än BNP och ökar mycket snabbare än offentliga anslag till infrastruktur. Mellan 1997 och 2013 har transportbranschens omsättning mer än fördubblats. I dagsläget transporteras ca 500 miljoner ton gods per år i Sverige. De vanligaste godsslagen är gruppen jord, grus och sand (31 %), följt av rundvirke och trävaror (18 %), därefter avfall m.m. (13 %) samt livsmedel (11 %). Transportbehovens karaktär gör att på sträckor under 300 km sker nästan alla godstransporter på lastbil⁵. Medeltransportlängden för inrikes godstransport på lastbil är 107 km⁶.



Denna utredning är avgränsad till de 17 % av det svenska vägnätet som utgörs av 98 500 km statliga landsvägar. På dessa landsvägar utförs ett trafikarbete om 58 miljarder fordonskilometer, d.v.s. 73 % av allt trafikarbete i Sverige. Lastbilar och bussar kör främst på stora landsvägar; lastbilarnas andel av den totala trafiken är 14 % på riksvägar och Europavägar, men bara 7 % på de mindre länsvägarna⁷. Totalt utför tunga lastbilar > 3.5 ton ett trafikarbete på 6.5 miljarder fordonskilometer på statliga vägar, varav mer än 87 % sker på primära länsvägar, riksvägar eller Europavägar och under 13 % på övriga länsvägar.

95 % av det allmänna vägnätet i Sverige tillhör den administrativa bärighetsklassen BK1, där högsta tillåtna bruttovikt idag är 64 ton.

Huvuddelen av transportarbetet vid internationell godsfrakt på lastbil till, från samt genom vårt land, utförs på Sveriges stamvägnät. Stamvägnätet utgörs av samtliga Europavägar samt av vissa sträckor på riksvägar, se kartan till vänster. År 1992 pekades dessa 8 000 km vägar ut som landets viktigaste vägar av riksdagen.

På hela stamvägnätet har vägkonstruktionen mycket hög bärförmåga och samtliga dessa vägar ingår i högsta bärighetsklass BK1.

Vägunderhållets omfattning


Trafikverkets nuvarande långtidsplan för vägunderhåll (VUH) omfattar 13 miljarder kr/år:

⁴ Trafikanalys, *Trafikarbete på svenska vägar (2015-11-04)*.

⁵ Transportföretagen, *Fakta om transporter 2015*.

⁶ Sveriges Åkeriföretag, *Fakta om åkerinäringen 2013*.

⁷ Trafikverket. (2014). *Trafikarbetet 2011. Rapport 2014:033*.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

- 4.5 – 5 miljarder kr/år förebyggande VUH; se historisk fördelning nedan.
- 3.5 miljarder kr/år drift i form av snöröjning, halkbekämpning, slätter m.m. ("avhjälpan VUH").
- 1.3 miljarder kr/år bärighet.
- 1.2 miljarder kr/år trafikledning.
- 1.1 miljarder kr/år ersättning till enskilda vägar.
- 1.0 miljarder kr/år FoU, upphandling mm.

Fördelningen av Trafikverkets utfall⁸ på 11 Miljarder kr för vägunderhåll år 2015 visas nedan.

Verksamhetsvolym genomförda åtgärder - underhåll väg, miljoner kr	
	2015
Underhåll	
Belagda vägar	3 415
Grusvägar	348
Broar	841
Tunnlar	67
Trafikinformatiönsutrustningar	315
Övriga vägutrustningar	693
Övriga väganläggningar	455
Vintertjänster	1 720
Åtgärdande av skador	267
Övrigt underhåll	154
Bärighet och tjälsäkring av vägar	1 805
Styrning och stöd i genomförande av underhållsåtgärder	419
Summa underhållsåtgärder	10 501
Övriga kostnader inom underhållsverksamheten	572
Summa verksamhetsvolym underhåll väg	11 072


Utifrån ovanstående härleds att en betydande andel av Trafikverkets utlägg för vägunderhåll om 11 miljarder kr under 2015 avsåg kostnader som inte påverkats nämnvärt av antalet passager / belastningar från tunga fordon, utan var tidsberoende.

De kostnadsposter som delvis är lastberoende, är underhåll belagd väg 3.42 Mdr (nytt asfaltslitlager på 4.7 % av vägnätet, dikesrensning m.m.), underhåll grusvägar 0.35 Mdr samt åtgärdande av skador 0.27 Mdr.

Observera att åtgärder för höjd bärighetsklass samt tjälsäkring är att betrakta som investering, snarare än underhåll.

I kostnaden för underhåll belagd väg ingår en hög andel kostnad som beror på slitage av dubblade personbilsdäck, åldring, klimat m.m. Beläggningsslitaget på grund av dubbdäck har enligt dåvarande Vägverket (2009) beräknats kosta mellan 300 och 400 Mkr på de statliga vägarna; idag ca 0.40 Mdr. De trafiklastberoende kostnaderna är därmed maximalt cirka $3.42 + 0.35 + 0.27 - 0.40 = 3.64$ Mdr/år. En kvalificerad bedömning av fördelningen mellan lastberoende och tidsberoende underhållskostnader för statliga belagda vägar är utförd vid Vägverket (2000). Notera att i rapporten används begreppen rörlig kostnad (trafiklastberoende; dubbdäcksslitage samt tung trafik) respektive fast kostnad (tidsberoende; klimat, åldring m.m.). Andelen trafiklastberoende kostnader är hög på det högratifierade (korta) vägnätet, medan den är låg på det lågratifierade (långsträckt) vägnätet. Ett vägt medelvärde för det statliga vägnätet är 25 % trafiklastberoende underhållskostnader.

⁸ Trafikverket, Årsrapport 2015.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Den totala underhållskostnaden för vägslitage från tung trafik är därmed maximalt $0.25 * 3.64 = 0.91$ Mdr/år. Denna kostnad är avsevärt lägre än statens beräknade intäkt på minst 4 Mdr/år från den föreslagna kilometerskatten på 1.4 kr/km. Därmed är den föreslagna reformen inte en självkostnadsavgift för vägslitage, utan uppenbarligen en finansiell beskattning.

Ovanstående ekonomiska resonemang är baserat på Trafikverkets budget för vägunderhåll, vilken har fokus på bevarande av vägkapital (tekniskt behov), samt i viss grad på funktionella behov. Trafikverkets budget har dock av flera trafikantorganisationer kritiserats för att inte inkludera medel till åtgärd av vägnarnas alla funktionella brister, så som ombyggnad av trafikfarligt felaktiga lutningar i "feldoserade" kurvor. Behovet av den typen av vägåtgärder påverkas emellertid inte av måttliga förändringar av tung trafik. Därmed berörs detta inte i denna utredning.

Referenskostnad för vägslitage som orsakats av tung lastbilstrafik

Vad kostar vägslitage från en tung lastbil? Begreppet "tiotons standardaxel" (ESAL₁₀) är centralt för att hantera den frågeställningen. Begreppet standardaxel förklaras i detalj i avsnittet "Hög axellast ger högt kontaktryck och skadar därmed vägbanan".


I föreliggande utredning har den totala underhållskostnaden för vägslitage från tung trafik på statliga vägar (data från Trafikverkets årsredovisning 2015) härletts till maximalt 0.91 Mdr/år. Det genomsnittliga tunga fordonet anses enligt Trafikverket medföra ett vägslitage motsvarande 1.3 st tiotons standardaxlar (ESAL₁₀). Trafikverkets trafikmätningar visar att totalt utför tunga lastbilar > 3.5 ton ett trafikarbete på 6.5 miljarder fordonskilometer på statliga vägar. Tillsammans leder dessa data till att en typisk tung lastbil orsakar behov av vägunderhåll till en referenskostnad på i medeltal $ca\ 0.91 * 10^9 / (1.3 * 6.5 * 10^9) = 0.11$ kr/ESAL₁₀*km.

Lastbilars vägslitagekostnad per körd km, normerad till en standardaxel, har tidigare beräknats av Vägverket (2000). Uträkningen var indelad i fyra trafikklasser, utifrån det kloka motivet att fördelningen mellan tidsberoende kostnader och trafiklastberoende kostnader skiljer mellan olika trafikklasser. Resultaten var för trafik > 8000 fordon/dygn en vägslitagekostnad på 0.061 kr/ESAL₁₀*km. Vid trafik 2000 - 8000 fordon/dygn var den 0.094 kr/ESAL₁₀*km. Vid trafik 500 - 2000 fordon/dygn var den 0.299 kr/ESAL₁₀*km och vid trafik < 500 fordon/dygn var den 0.377 kr/ESAL₁₀*km. Dessa tal ska justeras med hänsyn till inflation för att motsvara dagens penningvärde. Penningvärdet har ändrats så att 100 kr år 2000 motsvarade 120 kr år 2015. D.v.s. de ovan redovisade vägslitagekostnaderna ska skrivas upp med drygt 20 %.

Enligt det djupare resonemang Vägverket (2000) förde, ändras kostnaden mellan vägsträckor i olika trafikklasser. Fordonet ger lägre vägslitagekostnad på högtrafikerade vägar (välbyggda Europa- och riksvägar), samt högre på låg- & medeltrafikerade länsvägar. Kostnaden är typiskt något högre på primära länsvägar, samt flerfaldigt högre på sekundära och tertiära länsvägar.

Enligt Trafikverket (2014) sker 59 % av lastbilars trafikarbete sker på riks- & Europavägar. Majoriteten av dessa vägar har trafikflöden över 2000 fordon/dygn. En överväldigande majoritet av trafikarbetet på Europavägnätet sker på de sträckor som har mer än 2000 fordon/dygn. För vägar i trafikklassen 2000 – 8000 fordon/dygn kom Vägverket (2000) fram till en vägunderhållskostnad på 0.094 kr/ESAL₁₀*km. Efter 21 % uppjustering för inflation till år 2016 motsvarar detta en referenskostnad på 0.114 kr/ESAL₁₀*km. Vägverkets beräkning låg därmed inom avrundningsfelet lika med den medelvärdeskostnad på 0.11 kr/ESAL₁₀*km som föreliggande utredning beräknat som referens för tunga lastbilars vägslitage.

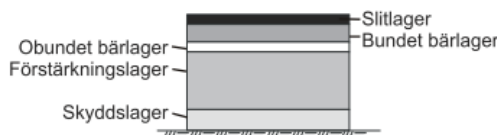
Ett typiskt tungt fordon med vägslitageeffekt på 1.3 tiotons standardaxlar (ESAL₁₀), vållar därmed vägslitage till en kostnad på $ca\ 1.3 * 0.11 = 0.143$ kr/km eller 1.43 kr/mil.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

4. ORSAKER TILL FÖRKORTAD VÄGLIVSLÄNGD

Landsvägars uppbyggnad

Väggkroppens olika lager visas i Figur 1.



Figur 1 Uppbyggnad av överbyggnad. Bildkälla: Trafikverket TDOK 2011:264

Vid värdering av vägars bärförmåga kan begreppet/mätskalan "ekvivalent asfalttjocklek" användas, se det Europeiska samverkansprojektet COST 334. Vid mätning på denna skala räknas obundna överbyggnadslager om till *ekvivalent asfalttjocklek*, med en "växelkurs" som säger att 1 cm asfalt strukturellt sett är jämförbart med 3.1 cm obundet krossat grus eller med 4 cm obundet sandigt okrossat grus. COST 334 redovisar, med referens till en kartläggning utförd av engelska forskare, ekvivalenta asfalttjocklekar vid vägbyggnad i Europa. Medeltjockleken för vägar som ska trafikeras med 10 miljoner standardaxlar (Obs: engelsmännen refererar till 8 tons axlar, inte 10 tons axlar) uppges vara motsvarande 378 mm asfalt. Tjockleken varierar mellan EU-länderna, men värdet 378 mm stämmer bra med svensk praxis. För vägar som ska trafikeras med 1 miljon standardaxlar (8 ton) anges EU-ländernas medeltjocklek till motsvarande 273 mm asfalt. Denna ekvivalenta asfalttjocklek kan alltså utgöras av exempelvis 120 mm asfalt på 510 mm obundet grus, likväl som av 30 mm asfalt på 810 mm obundet grus.

På mycket bärig undergrund, t ex vid skärning genom berg eller grus, kan tunnare obundna lager användas. Vid nybyggnation på undergrund av tjälfarliga lösjordsmaterial används skyddslager med tjocklek som klimatdimensionerats för att undvika att vägen blir ojämn. Därför ska vägar i norra Sverige vara tjockare än i södra Sverige.


Undergrund av mycket lös jord måste skiftas ut alternativt förstärkas genom armering, kemisk jordstabilisering, pålning eller liknande. Många äldre vägar på lös jord saknar sådan grundförstärkning.

För att klara av trafiklast i svensk bärighetsklass BK1 behövs först och främst motsvarande 42 cm obundet förstärkningslager och 8 cm obundet bärlager av krossat berg. Ovanpå det obundna bärlagret läggs bundna lager med tjocklek som dimensioneras för mängden tung trafik under dimensioneringsperioden, vanligtvis 20 år. Vid liten mängd tunga fordon kan det även i bärighetsklass BK1 räcka med en ca 1 cm tunn enkel ytbehandling (Y1G) som enda bundna lager. BK1-vägar ska därmed ha en ekvivalent asfalttjocklek på minst $1 + 8 / 3.1 + 42 / 3.1 = 17$ cm; vid större mängd tung trafik ökas asfalten.

Vägens slitlager ska slit

En väg som inte trafikeras är i princip värdelös; det är trafiknyttor som motiverar vägens existens. Vägen ska vara rätt dimensionerad, byggd och underhållen, så att den inte slits onormalt snabbt av trafik och klimat. Normalt vägsitage är därför direkt proportionellt mot belägningens ålder. Målbilden ska rimligtvis vara att hindra att vägbeläggningar behöver förnyas tidigare än normalt. Begreppet vägsitage bör därmed undvikas, och istället lämna plats till dessa två begrepp:

- Vägbelägningens ålder, normalt sett maximalt 20 år på landsvägar i acceptabelt skick.
- Onormalt förkortad väglivslängd.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Vid projektering av nya vägar, dimensioneras vägbeläggningen för 20 års livslängd. Formellt sett gäller detta endast det bundna bärlaget. Enligt Trafikverkets TRVK Väg, avsnitt 4.4.2.5, gäller att "Slitlager ska väljas så att underliggande bärande lager är skyddat från nötning under tiden fram till nästa underhållsåtgärd." Det nämnda valet av slitlager avser framförallt krav på asfaltballastens nötningsmotstånd, vilken bl.a. beror av hårdheten hos den bergart som stenmaterialet tillverkas av, samt storleken hos de största stenarna i asfaltballasten.

För stora vägar med intensiv dubbdäckstrafik är underhållsintervallet för slitlagret snarare under 10 år, än 20 år. För välbyggda lågtrafikerade ytor på exempelvis villagator, kan slitlagrets underhållsintervall vara längre än 20 år.

Slitlagret ska utformas med hänsyn till prognos för vägsträckans framtida trafikmängd. Trafikverkets TRVK Väg anger i avsnitt 7.1.2.1 att prognosen ska justeras med en rad faktorer. Faktorn för andel fordon med dubbdäck, J_{DD} , kan öka trafikvärdet upp till 30 %. Faktorn för hastighetsgräns (dubbdäck nöter mer vid högre fart), J_{SH} , kan öka trafikvärdet upp till 45 % vid 120 km/tim jämfört med slitageindex 1.00 vid 90 km/tim. Faktorn för väg- & körfältsbredd (biltrafiken blir mer spårbunden i smalare körfält), J_{KF} , kan öka trafikvärdet upp till 30 % vid 3.25 m körfältsbredd, jämfört med 9 m vägbredd. Slutligen används faktorn för vägsaltning (salt håller vägbanan fuktig; fuktiga vägbanor slits snabbare än torra), J_{VH} , kan öka trafikvärdet upp till 25 % om halkbekämpning sker med vägsalt, jämfört med slitage på osaltade vägar. Sammanlagt medför alltså, enligt Trafikverkets modell, denna rad av faktorer att vägens slitlager ska dimensioneras för upp till $1.30 * 1.45 * 1.30 * 1.25 = 3.06$ högre trafikmängd på saltad högtrafikerad väg med smala körfält, hög hastighetsgräns för personbilar och hög andel bilar med dubbade vinterdäck. Detta motsvarar $1 - 1/3.06 = 67$ % förkortad väglivslängd, helt och hållet orsakat av faktorer som inte påverkas av tung trafik.


De flesta nedbrytningsmekanismer är inte trafiklastberoende

Organisationen AASHO i USA genomfördes mycket omfattande provvägsförsök i slutet av 1950-talet. I försöken studerades sex provvägar under två års tid. Medan fem provbanor utsattes för kontrollerad trafik, hölls en bana utan trafik för att studera inverkan av klimat på vägens egenskaper. Resultaten visade att efter tjällossningen, återtog väggroppens bärlager och förstärkningslager snabbare full bärighet på de trafikerade banorna än på den otrafikerade banan. Likaså uppnådde de trafikerade banorna högre bärformåga (mätt som California Bearing Ratio samt styvhetsmodul) än den otrafikerade banan. På delsträckor med likvärdig uppbyggnad, uppmättes på den otrafikerade banan också större elastiska deflektioner (nedsjunkningar) under provbelastning samt att deflektionerna minskade långsammare från vår till höst än på de trafikerade banorna. Detta visar att väggroppens bärighet "mår sämre av att inte trafikeras", än av att faktiskt användas (se AASHO 1962, avsnitt 2.5.2 "Subsurface in Non-Traffic Loop"). Vid ett besök år 2005 konstaterades att asfaltbeläggningen på den helt otrafikerade banan var i uselt skick, se foto i Figur 2.

AASHO-provvägarna byggdes upp med förstärkningslager av obundet okrossat sandigt grus, bärlager av krossat grus och asfalt med tjocklekar som varierades mellan ett stort antal testtytor. Testytornas konstruktioner motsvarande i medeltal 176 mm (från 25 mm till 354 mm) "ekvivalent asfalttjocklek" (begreppet förklarades i avsnittet *Landsvägars uppbyggnad*). Provvägarnas konstruktioner motsvarade därmed i medeltal 80 mm asfalt på 300 mm obundet bärlagergrus, vilket idag ses som klen väggropp.

När AASHO-provsträckorna blev alltför sönderkörda, försågs de med en underhållsbeläggning. Samtliga underhållsbeläggningar lades under perioden mars – maj. Detta visar att vägens hållbarhet i hög grad begränsades av tjäle och frys-/töcykler i väggroppen och i undergrunden⁹.

⁹ AASHO Road Test, Internet 2016-04-29: <http://www.camineros.com/docs/cam003.pdf>

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	



Figur 2 AASHO "Non-Traffic Loop 1" var i uselt skick i september 2005. Källa: TRB E-C 118.

Skadeorsaker och skadebild skiljer dramatiskt mellan kommunala gator och statliga landsvägar.


På kommunala gatunät dominerar grävskador, åldrande bindemedel (förklaras nedan) och sprickor. Grävskador utgörs av sättningar vid dåligt packad återfyllning av ledningsschakter.

På högtrafikerade landsvägar (> 4 000 fordon/dygn) dominerar spårslitage från dubbade personbilsdäck. På medeltrafikerade landsvägar (< 4 000 fordon/dygn) dominerar spårslitage med visst inslag av ojämnheter i längdled. På lågtrafikerade vägar är skadebilden en mix av åldring och deformation samt sprickor från påkänningar av både klimat och tung trafik.

Svenska landsvägars huvudsakliga nedbrytningsmekanismer är:

1. Dåligt planerat och/eller dåligt genomfört byggande och underhåll av vägen, se fotografier i Figur 3 och i Figur 4 samt grafisk illustration i Figur 5.
2. Spårformad avnötning från dubbade vinterdäck på personbilar, se foto i Figur 6.
3. Vägbeläggningens bindemedel "åldras" (blir sprött och spricker, varvid vägytan förlorar stenar) på grund av oxidering av luftens syre samt UV-strålning från solen, se foto i Figur 7.
4. Nedsatt hållfasthet på grund av otillräcklig dränering och avrinning, sedan diken och vägtrummor slammat igen och ytvattenavrinning hindrats. Fotografierna i Figur 8 visar en plats med avrinningshinder under vägräcke. På denna plats deformerades vägbanan på knappt ett halvdussin år så illa, att spår djupet ökade med 15 mm och ojämnhetsindex IRI med 4 mm/m, varefter akut vägreparation blev nödvändig.
5. Materialomlagring sedan tjälningsprocesser under årens lopp fått stenblock att "vandras uppåt" genom vägkroppen och orsakat knölig vägyta, eller sedan tjällossningsfenomen fått lösjord att blandas in i vägkroppen och försvagat de obundna lagren, eller till följd av sättningar i svag undergrund som inte förstärkts tillräckligt för att kunna bära upp vägkroppens egentyngd. Bilden till vänster i Figur 9 visar en djup sättning på nybyggd motorväg., medan bilden till höger visar bromsspår och mitträckespåtkörning omedelbart efter sättningen.
6. Icke-trafiklastberoende sprickbildning från sättningar i undergrund, ojämna tjällyft eller sträng kyla, se foto i Figur 10.
7. Trafiklastberoende permanent deformation i hjulspår, i synnerhet i det yttre hjulspåret på vägar utan sidostöd av bred vägren så som på foto i Figur 11.
8. Trafiklastberoende sprickbildning i hjulspåren; utmattning av gammal asfalt så som i Figur 12.

Ofta är vägens skadebild påverkad av flera samverkande nedbrytningsmekanismer. Av de ovan listade nedbrytningsmekanismerna är nr 7 & 8 beroende av belastning från tunga fordon.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Det slarvas ofta vid tillverkning, lagring, transport, utläggning eller packning.

Ett vanligt resultat är ett försvagat område mellan varje lastbilslass med asfaltmassa.

Asfaltens livslängd förkortas från 20 år, ned till i värsta fall bara några enstaka år.



Photo: FIA, Sweden


Figur 3 Vanligt byggfel kapar livslängden hos den blivande vägens asfaltbeläggning

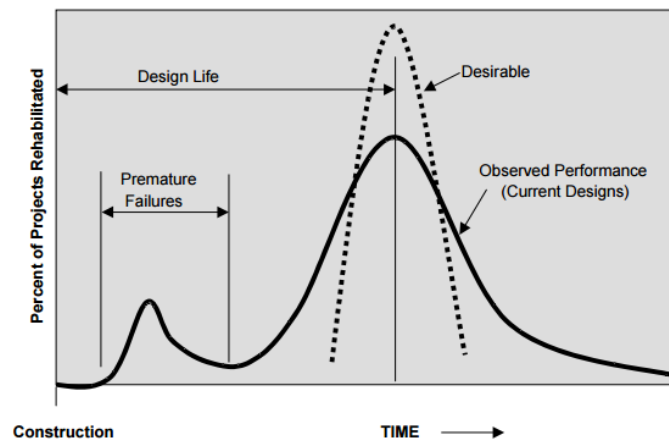


Foto: J. Granlund



Figur 4 "Väglitage" orsakat av underdimensionerat tjältskydd. Foto: J. Granlund

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	




Figur 5 Slarvig vägbyggnation är vanlig orsak till förkortad väghållbarhet. Källa: TRB E-C 118.



Figur 6 Avnötning orsakad av dubbade personbilsdäck. Bildkälla: ROADEX



Figur 7 Stensläpp orsakat av åldrande bindemedel (oxidering). Foto: J. Granlund


Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	



Figur 8 Snabb deformation 3 mm/år pga. avrinningshinder. Foto: J. Granlund



Figur 9 Trafikfarlig sättningskada pga. otillräcklig grundförstärkning av lös lera. Foto: S Hedlöf.


Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	



Figur 10 Tjälsprickor, här mellan trafikens hjulspår, med ohållbara lagningar. Foto: J. Granlund



Figur 11 Trafiklastberoende deformation i hjulspår på väg med smal vägren. Bildkälla: ROADEX.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	




Figur 12 Trafiklastberoende sprickbildning i hjulspår på svag vägkonstruktion. Bildkälla: ROADEX.

Dålig geometrisk vägutformning förkortar vägens livslängd

En särskilt trafikfarlig variant av delvis trafiklastberoende slitage är sprickor och ojämna deformationer nära kantlinjen på vägar med smal vägren, vilket ger risk för livsfarliga vältolyckor. Grundorsaken till dessa vägskador är att körbanans kant saknar nödvändigt sidostöd/inspänning, det vill säga att vägen är dåligt utformad för den avsedda trafiklasten. Vägar som utformats med vägren smalare än cirka 1 m uppvisar regelmässigt betydligt sämre bärighet nära kantlinjen än vid vägbanans mitt, i synnerhet om innerslänten dessutom är lutad brant mot ett djupt dike, se exempel på bild i Figur 13. Detta betyder att utöver vägens konstruktion och underhåll, spelar även vägens utformning (bredden hos vägrenen, innersläntens lutning mot diket samt diket djup) stor betydelse för körbanans hållfasthet och livslängd.



Figur 13 Vägen fick svåra kantskador sedan Trafikverket dikat bort vägkantens sidostöd

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Vinterdrift med vägsalt förkortar vägens livslängd

Saltning håller vägbanan våt och ökar därigenom avnötningen från dubbdäckstrafiken. Trafikverkets modell för utformning av asfaltslitage anger att för vägar som saltas ökar slitaget kraftigt, vilket medför krav på slittåligare och därmed dyrare slitage.


Vägsalt kan i vissa fall också helt ödelägga vägbanans hållfasthet. E4 genom Höga Kusten invigdes i december 1997 och fick redan första vintern svåra skador. På kort tid kollapsade vägbanan på den flera mil långa och då nybyggda Europavägen, varpå den dränerande asfalten av typ ABD och separationsskadad ABS efter bara fyra år frästes bort och ersattes med tät asfalt av typ ABT. En omfattande skadeutredning konstaterade att nedbrytningen orsakats av vägsalt i kombination med porös asfalt, se Höboda (2000).

Vid underhåll av ojämna vägbeläggningar som inte planfrästs, blir delar av beläggningen regelmässigt dåligt packad. Sådana porösa ytor har uppvisat snabbt accelererande skador sedan deras driftklass ändrats så att de har börjat saltas, se exempel på väg 331 i Figur 14. Lagg märke till hur vägskadorna i hjulspåren varierar längs vägen; oskadade ytor varvas med svårt skadade ytor trots att trafikarbetet är konstant. Detta visar att vägskadorna beror på punktvisa kvalitetsbrister i vägkonstruktionens hållfasthet, snarare än på trafikbelastningen. I detta fall beror bristerna sannolikt på vägsalt, i kombination med separerad och dåligt packad (d.v.s. porös) asfalt som lagts utan planfräsning på gammal ojämn asfalt. Liknande skador har rapporterats från andra vägar, så som *"-Riksväg 70 norr om Mora saltades i vinter för första gången och samtidigt kom vägen mer eller mindre att kollapsa med stora hål och gropar"*¹⁰.



Figur 14 *"-De har saltat sönder vägen", säger boende vid väg 331.* Foto: O. Thelberg, Tidningen Allehanda

¹⁰ *Kollapsad väg på väg att lyfta.* (2016). Dalarnas Tidningar. Internet 2016-05-12: <http://www.dt.se/dalarna/alvdalen/kollapsad-vag-pa-vag-att-lyfta>

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Brister i dränering och tjälskydd förkortar vägens livslängd

Enligt tidigare avsnitt är en stor del av vägslitaget i praktiken resultat av en kombination av belastning från tunga fordon och en rad omständigheter så som dålig dränering, samt klen och otillräckligt tjälskyddad vägkonstruktion. Förenklat kan sägas att tjälskador främst uppstår på vägsträckor grundlagda på dåligt dränerad tjälfarlig jord, i regioner med sträng kyla. Vägar som ska byggas undergrund med hög halt av silt eller andra tjälfarliga finjordar kan tjälskyddas, genom att t.ex. skifta ut det tjälfarliga undergrundsmaterialet ned till frostfritt djup eller installera isolerskivor innan vägöverbyggnaden läggs ut. Genom att rusta upp befintliga vägar i skick som på fotot i Figur 15 till anständig dräneringsklass, med åtgärder som till exempel dikesrensning (eller som i detta fall t.o.m. anläggning av dike), kan vägens nedbrytningstakt i många fall mer än halveras.



Figur 15 Dåligt avvattningsystem ger låg bärighet och förkortad väglivslängd. Bildkälla: ROADEX.


Befintliga vägojämnheter ökar vägslitaget från lastbilar

Vägar är dimensionerade för lastbilar som rullar fram, d.v.s. hjulen är belastade av fordonets och nyttolastens vikt. Ju ojämnare vägbanan är, desto mer dynamiska laster tillkommer när lastbilen vibrerar.

När hjulen studsar över kortvågiga vägojämnheter uppstår kortvariga lasttillskott; gupp < 2 m ger skakningar med ca 8 - 12 Hz frekvens. Effekten klingar av redan några meter efter passage av t.ex. potthål. Axelgrupper har visats minska dynamiska lasttillskott, jämfört med enkla axlar, se Carlén (2013). När lastbilens chassi, hytt och nyttolast gungar över ca 15 - 35 m långvågiga vägojämnheter (ger skumpande rörelser dels vertikalt och dels i form av krängningar i sidled) uppstår långvariga lasttillskott vars effekt klingar av först efter många tiotals metrar.

Sedan 1960-talets AASHO provvägsförsök, inkluderar vägdimensionering en viss del dynamiska lasttillskott från hjulens studsande. Däremot tar traditionella vägdimensioneringsmodeller ingen som helst hänsyn till de stora dynamiska laster som tillkommer på vägsträckor där långvågiga vägojämnheter orsakar att hela lastbilen skumpar fram istället för att rulla fram.

Vid vanlig underhållsbeläggning inklusive normal förjustering, repareras effektivt kortvågiga vägojämnheter som får hjulen att studsa. Däremot kvarstår regelmässigt hög andel av de långvågiga vägojämnheter som får hela lastbilen med släp att skumpa och därmed ge höga dynamiska lasttillskott. Carlén (2013) demonstrerade en metod att beräkna onödigt vägslitage som orsakas av att befintliga vägojämnheter. Resultaten visar att befintliga vägojämnheter kan ge dynamiska laster som lokalt ökar vägslitaget högst väsentligt. Vagnätets hållbarhet kan alltså ökas radikalt, om befintliga vägojämnheter med våglängder ända upp till ca 35 m, repareras. Detta förutsätter modern teknik för noggrann styrning av asfaltmaskinernas förjustering och planfräsning av vägbanan, innan slitlagret läggs ut.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

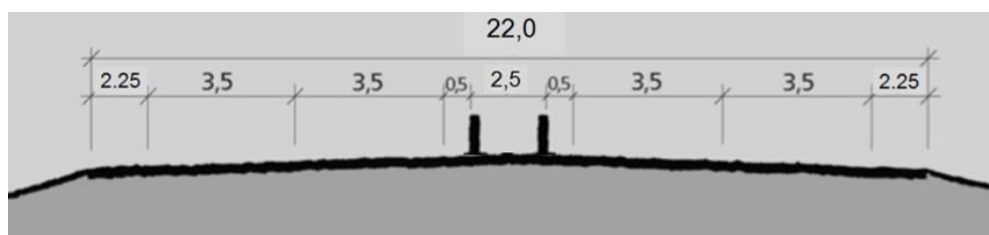
5. LASTBILSSLITAGE BARA I ORDINARIE KÖRFÄLT

Lastbilars körfält är en tredjedel av motorvägens bredd

De belagda ytorna på en landsväg indelas i:

- Ordinarie körfält (K1), vanligaste bredd i EU-länder är 3.75 m¹¹ men i Sverige bara 3.5 m.
- Omkörningskörfält (K2) på motorväg eller annan flerfältsväg, vanligaste bredd i EU-länder är 3.75 m.
- Yttre vägren (V), endast två EU-länder (däribland Sverige) har mindre än 2.5 m bredd.
- Inre vägren (Vi) på mötesseparerad väg, vanligaste bredd i EU-länder är 1 m¹².

Idag utformas motorvägar i Sverige med 22 m bredd, varav den gräsklädda mittremsan är 2,5 m bred och den obundna stödremsan vid vägkanterna är 0.25 m bred. Av den belagda bredden på 21.5 m, trafikerar tunga lastbilar i princip endast de båda 3.5 m breda ordinarie körfälten (K1), se Figur 16. Detta innebär att lastbilen bara trafikerar en tredjedel av motorvägens belagda bredd.



Figur 16 Motorvägssektion enligt svenska vägnormen *Vägars och Gators Utformning*

På motsvarande sätt konstateras att tunga lastbilar trafikerar mellan hälften och två tredjedelar av den belagda ytan på vanliga flerfältsvägar med 2+2 eller 1+2 körfält.


Tunga lastbilars trafikering är försumbar även i stigningsfält i brant motlut på vanlig tvåfältsväg.

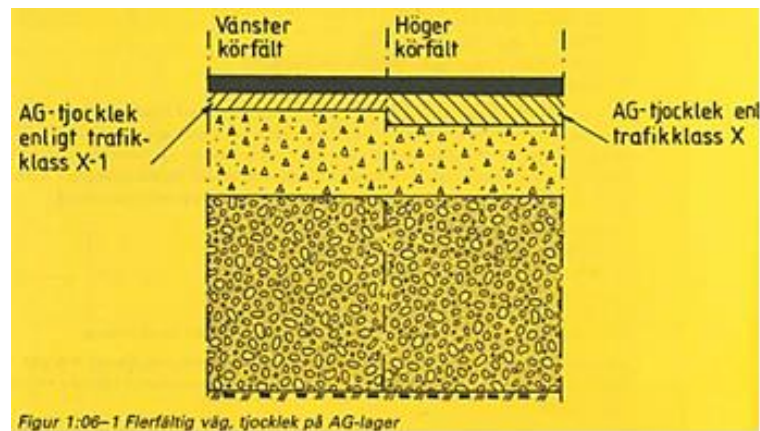
På motorvägnätet utförs 30 % av allt trafikarbete på statliga landsvägar (17 av 56 miljarder fordonskilometer). Mer än 9 % av trafikarbetet går på andra flerfältsvägar, medan 61 % går på mindre landsvägar. När det gäller tung trafik, är dess andel betydligt högre på motorväg och flerfältsväg (där lastbilar trafikerar mindre än hälften av vägbanan), än på mindre vägar. Av de tunga lastbilarnas trafikarbete, utförs 48 % på Europavägarna. Andelen lastbilar är 14 % på det 8 000 km långa nationella stamvägnätet. Stamvägnätet omfattar samtliga Europavägar samt av vissa viktigare sträckor på riksvägar, se karta i avsnitt 3. *Vägnätets trafikarbete och underhåll*. På de mindre länsvägarna är andelen lastbilar ca 7 %. Ungefär hälften av de tunga lastbilarnas trafikarbete sker på flerfältsvägar, där dessa lastbilar bara använder en del av vägens bredd.

Vid nybyggnation har praxis sedan flera decennier varit att svenska flerfältsvägar regelmässigt konstrueras med högre bärförmåga (typiskt dubbelt så tjockt bundet bärlager) i ordinarie körfält (K1), jämfört med omkörningskörfält (K2). Detta framgår av Vägverkets byggnadstekniska anvisning "BYA" från år 1984, se Figur 17.

¹¹Safety Effects of Road Design Standards in Europe, Internet: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec003/ch39.pdf>

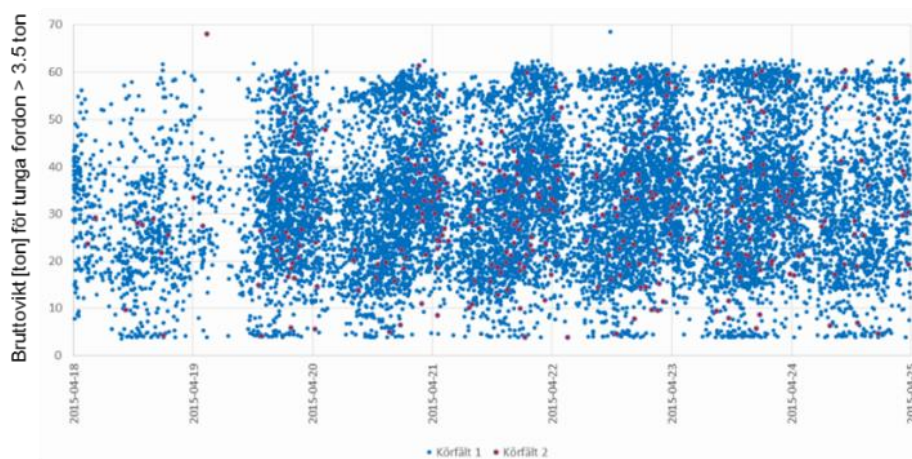
¹²Road design standards of medians, shoulders and verges, Internet: <http://www.swov.nl/rapport/R-94-07VII.pdf>

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	




Figur 17 Tjockare bundet bärlager (AG) i ordinarie körfält än i omkörningskörfält. Källa: BYA84

Trafikverkets vägningar av tunga fordon visar att tunga lastbilar mycket sällan kör i omkörningskörfältet. I Figur 18 visas bruttovikt hos lastbilar som passerat mätstationen under en vecka. Bruttovikt för lastbilar i ordinarie körfält är markerade med blå punkter, medan bruttovikt för lastbilar i omkörningskörfältet är markerade med röda punkter. Som synes finns knappt några röda punkter alls, d.v.s. ytterst få lastbilar kör i omkörningskörfältet. Omkörningskörfältet och vägrenar är främst för personbilisters behov. En relevant fråga är därmed ifall bilister ska betala för vägslitage på större andel av vägbredden, än vad lastbilsäkerier ska göra?



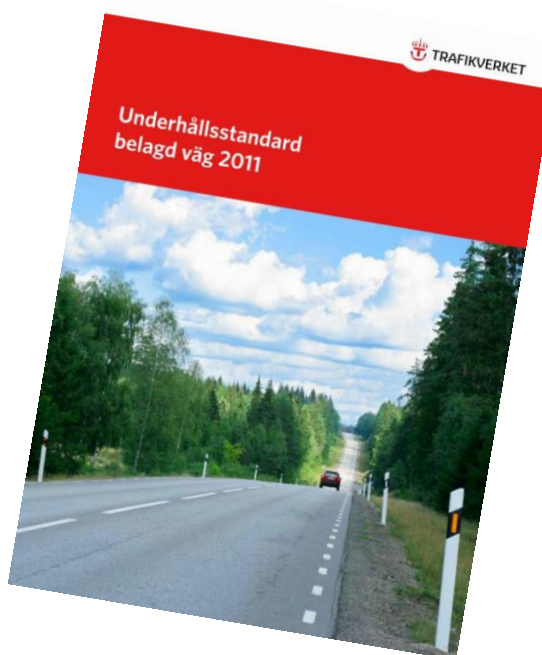
Figur 18 Lastbilar kör sällan i omkörningskörfältet (K1)

Källa: Trafikverket, NVF 2016-01-21

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

6. VÄGAR UNDERHÅLLS FÖR PERSONBILISM

Trafikverkets standard för underhåll på belagda vägar, se Figur 19, är baserad på samhällsekonomiska bedömningar. Standarden för högtrafikerade vägar är satt för att möta personbilstrafikens krav i hastighet upp till 120 km/tim (tung lastbil med tungt släp för hursomhelst inte köra fortare än 80 km/tim), vilket leder till korta åtgärdsintervall och därmed frekvent beläggningsunderhåll.




Figur 19 Trafikverkets skrift "Underhållsstandard belagd väg"

Många av de nyare högtrafikerade motorvägarna och flerfältsvägarna (inklusive vägar med 2+1 körfält) har smala körfält, vilket gör att fordonen kör i samma sidoläge i körfälten och där ökar spår djupen snabbt. Detta leder till kortare åtgärdsintervall och högre underhållskostnad. På dessa högtrafikerade vägar trafikerar tunga lastbilar bara en bråkdel av vägbredden (försumbar lastbilstrafik i omkörningskörfältet), jämfört med vanliga tvåfältsvägar där lastbilar trafikerar hela vägbredden.


Underhållskostnaden för motorvägar ska rimligtvis i hög grad belasta personbilstrafiken, eftersom vägens bredd, antal körfält med mera, är utformade för personbilstrafik. På motorväg utgörs den vanligaste orsaken till underhållsåtgärd av nötningsspår från personbilarnas dubbdäck. Gränsvärdet för största acceptabla spår djup är satt med hänsyn till bilisternas behov, t.ex. trygghetskänsla och risk för vattenplaning, inte med hänsyn till lastbilstrafikens tolerans. Dessa omständigheter rättfärdigar att personbilisterna bör betala en stor andel av vägs slitaget, vilket de idag också gör.

Tunga lastbilar orsakar visserligen lastberoende slitage, men omfattningen och kostnaden för underhållsåtgärderna styrs även av vägens typsektion (antal körfält, bredder på körfält och vägrenar, släntlutningar med mera). Detta innebär att även på en hypotetisk motorväg som p.g.a. underdimensionering har lastberoende skador, avgörs omfattningen för underhållsåtgärden och dess kostnad av att det gäller just en motorväg. D.v.s. kostnaderna gäller en vägtyp som i huvudsak är utformad för personbilstrafikens behov.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

När dubbdäck slitit vägbeläggningen så att spårdjupet når underhållsstandardens gränsvärde (som alltså är satt för bilisternas behov), då lagas spårslitage. Ett vanligt sätt att till lågt pris laga spårslitna och måttligt deformerade högtrafikerade vägar, är att justera upp spår och lågpunkter i vägbanan med bindemedelsrik finkornig asfaltmassa, varefter en bindemedelsrik ytbehandling utförs. Under årens lopp upprepas lagandet, gång på gång. Med tiden kommer därför bitumenrika lager att hamna 3-5 cm under vägytan. På detta djup uppträder de högsta skjuvpåkänningarna (se kommande avsnitt) från tunga fordon. De bindemedelsrika justeringsskikten är instabila mot skjuvpåkänningar och deformerar därför lätt av normala tunga lastbilar. Forskaren Safwat Said vid VTI har visat¹³ att plastiska deformationer från normala skjuvpåkänningar från breddäck, kan förebyggas genom att i hjulspåren "lådfräsa" bort instabila bindemedelsrika justeringsskikt och ersätta dem med ett bindlager typ ABb som är stabilt mot skjuvpåkänningar, alternativt genom att belägga vägbanan med s.k. *gummiasfalt*. Övan nämnda lågprisreparationer av dubbdäckens slitage skapar på sikt en vägkonstruktion som inte tål tung trafik, varvid normala skjuvpåkänningar från tunga fordon snabbt skapar plastiska deformationer i vägbeläggningen. Även om dessa deformationer kommer från tung trafik, beror de alltså i grunden på olämpliga lågbudgetlagningar av slitage från personbilarnas dubbdäck. En relevant fråga är därmed hur kostnaden för hållbar renovering, med lådfräsning och ersättningsläggning av stabilt bindlager, mest rättvist fördelas mellan tunga respektive lätta fordon?

¹³ Safwat Said: "Tunga fordons inverkan på spårbildning", föredrag vid Transportforum 2016.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

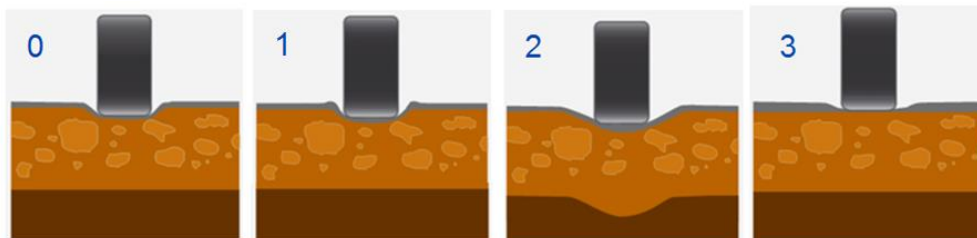
7. SÅ SLITER EN LASTBIL PÅ VÄGKROPPEN

Tung belastning ger deformation och sprickor i svaga vägar

Belastning från tunga lastbilar orsakar deformationer och sprickor i svaga vägar med låg bärförmåga:

- Sprickbildning till följd av utmattnig, i synnerhet av åldrad och spröd asfalt.
- Spår och ojämnheter i längdled genom omlagring i instabila beläggnings-/bärlager, efterkomprimering av dåligt packad väggropp, samt deformation av svag mark under vägen (i synnerhet där sidostöd från en bred vägren saknas).

Bilderna i Figur 20 visar 4 typer av mekanismer för spårbildning. Tre typer är orsakade när svag väggkonstruktion deformerats under tunga hjullaster, medan en typ av spårbildning är orsakad genom avnötning. Spårbildning av typ 0 orsakas genom deformation till följd av trafikens efterpackning av svaga eller bara dåligt packade obundna lager i vägöverbyggnaden. Spårbildning typ 1 orsakas genom skjuvdeformation i mycket svaga och instabila lager i väggkroppens övre lager. Spårbildning typ 2 orsakas genom deformation av mjuk undergrund. Spårbildning typ 3 orsakas genom nötning från dubbade vinterdäck, vilka är mycket ovanliga på tunga lastbilar. Avnötning sker mycket snabbt om vägens slitlager är tillverkad med ballast av mjuka bergarter. Ett vanligt byggfel på svenska landsvägar är att endast den grövsta fraktionen 11-16 mm är av specialsten från hårda bergarter, medan finballasten är av ortens mjukare sten. Den mjuka finballasten spräcks snabbt av bildäckens dubbar. Detta medför att vägytan i hjulspåren snabbt blir mycket skrovlig, varigenom trafikbullret, rullmotståndet samt mängden luftburna partiklar ökar, se Granlund (2014). Många klena byggda vägar har spårbildning orsakad av flera mekanismer samtidigt.



Figur 20 Olika former av spårbildning i vägbeläggning och underliggande lager. Bildkälla: ROADDEX.


Övergripande samspel mellan tung lastbil och väg

För att kunna rättvist utvärdera vägslitage till följd av växelverkan mellan däck och vägbana, behövs förståelse för de krafter och spänningar som verkar på kontaktytan mellan däck och väg, samt för de resulterande påfrestningarna på olika djup i väggkonstruktionen.

Därtill behövs förståelse för hur olika typer av fordon påverkar hur effektivt transportarbetet utförs i förhållande till fordonstypernas vägslitageeffekt.

Den vertikala kraften ges av hjulets belastning, vilken består av en statisk komponent samt en dynamisk komponent som varierar med vägbanans ytojämnheter och hur vägytans svikt under tung last varierar längs vägen.

I många sammanhang beaktas endast de vertikala krafterna, men i vissa fall förekommer betydande horisontella krafter. Horisontella krafter uppstår vid acceleration, inbromsning, styrning, backtagning och utförskörning samt till följd av vägbanans tvärfall. Dessutom uppstår lokala påkänningar inom kontaktytan, till följd av deformation av däckets och vägytans.


Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

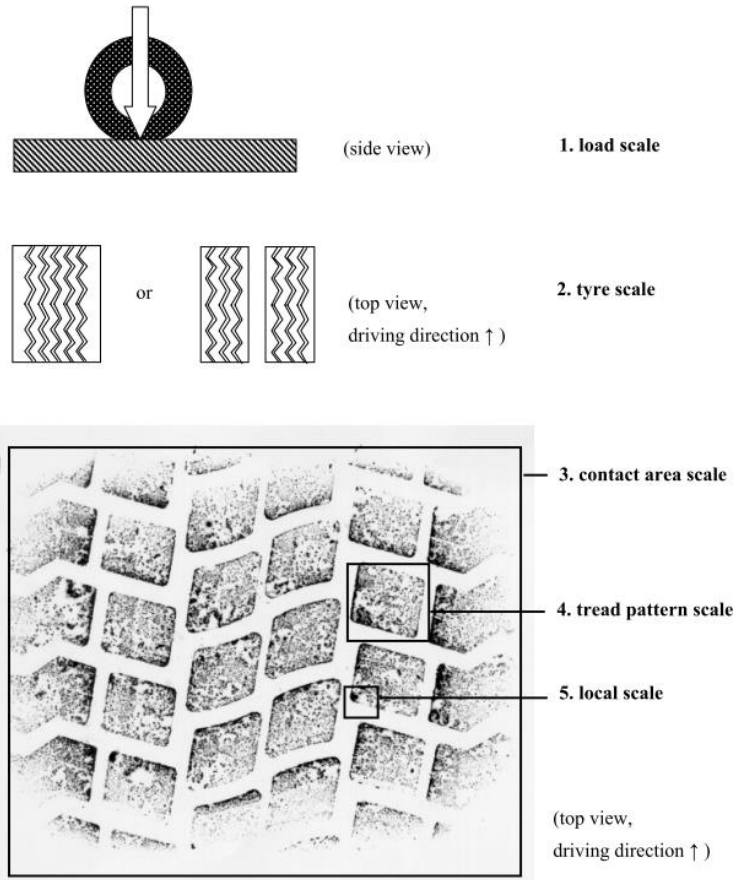
Belastningens fem skalstorlekar

Egenskaper hos axlarna, hjulen, däcken och deras lufttryck påverkar hur last överförs från fordon ned i vägytan, genom vägkonstruktionen och sprids över undergrunden. I det Europeiska samarbetsprojektet COST 334 "Effekter av enkelmonterade breda däck och dubbelmonterade däck" definierades dessa fem skalstorlekar för tunga lastbilers belastning på vägar (se även bild i Figur 21):


1. Lastskala, d.v.s. hur nyttolasten och lastbilens tjänstevikt fördelas på axlar och hjul. I detta skalsteg beaktas endast nettokraftens storlek, inte den yta över vilken trycket sprids.
2. Hjulskala, d.v.s. lasten fördelas på enkel- eller parmonterade däck. I det senare fallet skapas två separata kontaktytor. Till följd av imperfektion hos axeln, hjulet, däcken och deras lufttryck samt hos vägytan, har dessa två kontaktytor regelmässigt något olika belastning.
3. Kontaktyteskala, d.v.s. hur last från det enskilda däckets fördelas ut på vägbanan. I detta skalsteg anses belastningen vara homogent fördelad över däckets "fotavtryck" mot vägytan. Fotavtryckets bredd är i princip konstant, medan dess längd och därmed även yta påverkas av hjulets belastning och av däckets inre lufttryck.
4. Däckmönsterskala, d.v.s. hur belastningen tas ned via däckets styva sidväggar och sprids över kronan med dess skuldror, lagren av stomkord samt av stålbalten, nylonbältet samt över slitbanan med dess mönsterklackar. Belastningen betraktas i många sammanhang vara jämnt fördelad över slitbanemönstret; över drivdäckens klackar respektive styrdäckens och trailerdäckens ribbor. Lastspridningen påverkas därmed av däckmönstrets "land-to-sea" förhållande, d.v.s. kvoten mellan areorna för däckytans gummi respektive dränerande kanaler. Jämn lastfördelning över slitbanan förutsätter att däckets lufttryck följer tillverkarens rekommendation vid aktuell hjullast
5. Lokal skala, d.v.s. hur vägbeläggningsens makrotextur påverkar hur ytstenarnas toppar belastas av däckytans gummiklackar eller ribbor.

Vid dimensionering av vägars överbyggnad räcker det att beakta skalstorlekarna 1 till 3; från lastskala till kontaktyteskala.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	



Figur 21 De fem skalstorlekarna för tunga lastbilars belastning på vägar (COST 334)

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

8. VÄGENS SLITAGE STYRS AV AXELLASTEN

Hög axellast ger högt kontaktryck och skadar därmed vägbanan

Normalt vägslitage från tunga fordon kan enligt COST 334 sägas omfatta tre typer av slitage/skador:

1. Utmattningsprickor i hjulspåren (påverkas i hög grad även av beläggnings ålder).
2. Deformationsspår: *Primärspår* i slitlager och bärlager, samt *Sekundärspår* i obundna lager eller undergrund.
3. Ojämnhet i längdled, pga. kombination av spår, sprickor eller potthål, åldring, tjäle, sättningar i svag undergrund, fukthalt och variationer i material- och produktionskvalitet vid vägbyggandet.


De tunga fordonens inverkan på de tre typerna av vägslitage tar sig olika form, beroende på faktorer så som typen av däck, däckens storlek, hjulbelastning, däckens lufttryck, vägmaterial och lagertjocklekar i vägens överbyggnad. Inverkan av t.ex. typen av lastbilsdäck kan förklaras utifrån St-Venant's princip, uppkallad efter den franske elasticitetsteoretikern Jean Claude Barré de Saint-Venant (1855): "... *skillnaden mellan effekterna av två olika men statiskt ekvivalenta laster blir mycket liten vid tillräckligt stora avstånd från belastningen*". Tillämpat på lastbilars belastning av en vägbanan, tolkas St Venant's princip av vägbyggare som att "*Spänningar och töjningar nära vägytan påverkas starkt av kontaktrycket och dess fördelning över kontaktytan mellan däck och vägbeläggning, medan spänningar och töjningar på större djup under vägytan framför allt påverkas av den totala belastningen*".

Den faktor som är mest avgörande för lastbilars vägslitage är kontaktrycket under respektive däck. Detta avgörs främst av axellasten samt av däckkonfigurationen.

De flesta metoder för dimensionering av asfaltbelagda vägar är inriktade på att förebygga skadetyperna utmattningsprickor och sekundärspår. Dessa dimensioneringsmetoder fungerar bra för tungt trafikerade vägar, med följaktligen tjocka överbyggnadslager. En konsekvens är att på dessa vägar kan en annan skadeform, primärspår, komma att dominera de skador som med tidens gång framträder. Underdimensionerade vägar kan dessutom självklart även uppvisa mycket utmattningsprickor och sekundärspår, trots att målsättningen var att förebygga dessa skadetyper. Dessa skador beror då på just det faktum att den klena vägen inte byggts med lagertjocklekar, materialkvalitet och väl utförd dränering enligt beräkningarna.

För att särskilja slitagekostnad mellan olika typer av tunga fordon (olika vikt och axelkonfiguration) används den så kallade fjärdepotensregeln, vilken säger att axellasten X orsakar en nedbrytning av vägen motsvarande $(X/Y)^4$ gånger den nedbrytning som referenslasten Y ger. Det betyder till exempel att en fördubblad axellast ($X = 2*Y$) medför att nedbrytningen ökar 16-faldigt.

Fjärdepotensregeln är baserad på mycket omfattande provvägsförsök som genomfördes av organisationen AASHO i USA i slutet av 1950-talet. Axellasten 8 ton (18 kip) användes som referens, men i Sverige och många andra länder används istället 10 ton som referens och en tiotonsaxel kallas här "standardaxel". Lasten på varje axel divideras med 10 och höjs sedan upp till 4 (fjärde potensen). Resultatet från denna beräkning summeras sedan över samtliga axlar. Summan utgör fordonets standardaxel-antal och summan visar hur många tiotonsaxlar det tunga fordonet motsvarar slitagemässigt. Standardaxel-begreppet innebär att det anses råda ett linjärt samband mellan antalet standardaxlar och det vägslitage som fordonet orsakar. Fjärdepotensregeln kan beskrivas genom att studera en tvåaxlad lastbil som väger 16 ton, varpå nyttolasten på flaket ökas med 4 ton. Vikten per axel ökar då från 16 ton på 2 axlar till 20 ton på 2 axlar, d.v.s. med $(10 - 8) / 8 = 25$ procent. Fjärdepotensregeln visar att den nedbrytande effekten ökar mycket mer, nämligen med en faktor $(10 / 8)^4 = 2.44$. Detta innebär en ökning i vägslitage på 144 procent, jämfört med ökningen i axelvikt på bara 25 procent.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Vid beräkning av vägsitage enligt fjärdepotensregeln ska axlar i axelgrupper ha axelgruppens tillåtna belastning som referens. Ett vanligt fel är att även axlar i axelgrupper analyseras separat. Detta räknefel leder till att det beräknade vägslitaget överdrivs.

Enligt Trafikverket har det genomsnittligt tunga ekipaget i Sverige 1.3 standardaxlar, d.v.s. ekipaget anses orsaka vägnedbrytning och slitagekostnad motsvarande 1.3 tiotonsaxlar. Denna siffra etablerades efter omfattande utredning år 1989. Det verkliga värdet kan sedan dess ha ändrats rejält, exempelvis om andelen tunga fordon med släp har ökat sedan 1989.


Fjärdepotensregeln är att betrakta som en tumregel, då potenstalet kan avvika mycket från 4 beroende på vägkonstruktion, undergrund och vilken typ av vägskada som avses. VTI (2014) fann vid fullskaletest i en "Heavy Vehicle Simulator"-anläggning i provserier på olika vägöverbyggnader de tre alternativa potenstalen 0.23 och 1.76 samt 3.67. Det låga potenstalet på 0.23 indikerar att det snarare finns ett linjärt samband mellan nedbrytningstakt och axellast, än att det följer en potensfunktion. Författarna skriver att det låga potenstalet kan berott på att just den testade vägkroppen, till skillnad från de båda andra provvägarna, fick ligga otrafikerad i tre månader innan den tunga trafikeringen inleddes. Detta indikerar att de andra två provvägarnas skador i stor grad beror på vägbyggnation med otillräcklig liggtime (en tidperiod där vägkroppen och undergrunden hinner "sätta sig" under överbyggnadslagrens egentyngd innan asfalten läggs ut) och på resulterande efterpackning, snarare än enbart på tung trafikering.

Professor David Cebon vid University of Cambridge har funnit liknande (brist på) potenssamband för väldimensionerade och välbyggda vägar, så som i dagens motorvägssystem: "*The validity of the 'fourth power law' is questionable, particularly for current axle loads and axle group configurations; tyre sizes and pressures; road construction; and traffic volumes: all of which are significantly different from the conditions of the AASHO road test*". Cebon pekar på potenser i intervallet 1.3 – 6. Den lägre delen av intervallet innebär att fjärdepotensregeln kan sakna relevans för exempelvis modernt dimensionerade och välbyggda vägar.

OECD:s Divine-projekt kom fram till likartad slutsats; "*The use of the 'fourth power law' may not be appropriate in all situations unless the environment, traffic, pavement type and pavement construction methods are the same as, or very similar to, those in the AASHO Road Test*".

Potensen 4 bestämdes alltså i provvägsförsök med bara en knapp miljon axelpassager från stöttigt fjädrade lastbilar på företrädesvis klen byggda vägar i USA i slutet av 1950-talet. Endast en handfull av AASHO-provytorna kan sägas motsvara svensk bärighetsklass BK1 och i dessa fall endast för relativt låga trafikvolymmer. Senare studier har pekat på potenser i intervallet 2 - 8, beroende på vägkonstruktion, typ av lastbilsfjädring m.m. COST334 särskiljer olika skadetyper; för permanent deformation i bitumenbundna lager anges potensen vara i intervallet 1 - 2. Vid kalibrering av fjärdepotensregeln mot nordiska förhållanden (trafik, klimat, undergrund) i det s.k. STINA-projektet på 1970-talet, konstaterades att potensen typiskt ligger i intervallet 3 - 5. I STINA konstaterades också att för vägar med klen överbyggnad grundlagda på lera och liknande lösjord saknas potenssamband fullständigt; en enda överfart med alltför tung axellast kan orsaka momentant brott i undergrunden.

Fjärdepotensregeln är en schablon för att jämföra tunga fordon med andra tunga fordon. Ibland används den felaktigt för att jämföra personbil och tunga fordon. Det är inget annat än en stor fadäs, där långt drivna slutsatser felaktigt dragits genom att extrapolera resultat långt utanför det område där formeln är relevant. Exempelvis beaktar fjärdepotensregeln inte nötningsitage från dubbade personbilsdäck, vilket är den dominerande orsaken till asfaltunderhåll på det svenska motorvägnätet.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Fjärdepotensregeln för olika axelkonfigurationer

Det ekvivalenta antalet 10-ton standardaxlar för ett tungt lastbils ekipage, beroende av dess axelkonfigurationer, beräknas enligt *fjärdepotensregeln* i version enligt Formel 1.

Formel 1 Fjärdepotensregeln för axellasters (och axeltypers) inverkan på vägslitaget

$$ESAL_{10} = \sum_{n=1}^i \left(\frac{W_i}{10}\right)^4 * k_i$$

Där:

i = antal axlar eller axelgrupper hos ekipaget

W_i = vikt för axel(grupp) nr i , [ton]

k_i = korrektionsfaktor för axelkonfiguration hos axelgrupp nr i

$k = 1$ för enkel axel


$k = (10/18)^4 = 0,0952$ för boggiaxlar

$k = (10/24)^4 = 0,0302$ för trippelaxlar

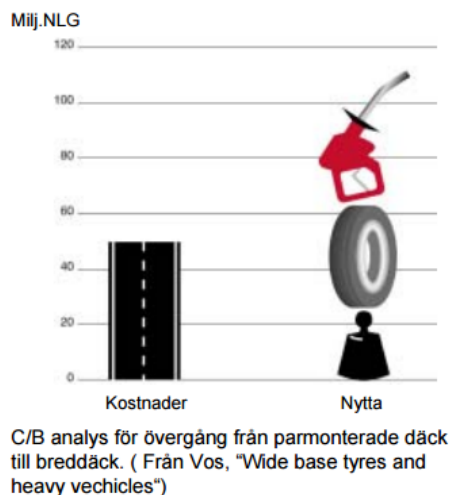
Formeln för fjärdepotensregeln anges ovan i en version som skiljer på om lasten ligger på enkelaxel, på boggiaxelgrupp eller på trippelaxelgrupp.

Formeln för fjärdepotensregeln förekommer även i versioner som inkluderar korrektioner för hur "vägvänligt" det aktuella fjädringssystemet är (hård bladfjädring eller skonsammare luftfjädring), samt för hur däckkonfigurationen påverkar kontaktrycket (enkelmonterade däck, parmonterade däck eller enkelmonterade breddäck).

I nästa kapitel ges fjärdepotensregeln i en version som även beaktar däckkonfigurationen.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

9. DÄCKEN PÅVERKAR VÄGSLITAGET



Däcktypen påverkar vägytan, axellasten påverkar längre ned

Vägslitaget påverkas av lastbilarnas och släpvagnarnas typ av däck, samt av däckens lufttryck.

Däckets fotavtryck mot vägytan avgör de belastningar som uppkommer högt uppe i vägkonstruktionen; slitlager, bundet bärlager och obundet bärlager.


Belastningar på större djup i väggroppen och undergrunden påverkas inte bara av belastningen över hela kontaktytan från ett däck, utan även genom samverkande belastning från däcken intill (både däck bredvid och däck tätt framför/bakom varandra). Utifrån denna samverkan anses deformationer djupt under vägytan mer träffsäkert beskrivas som beroende av last på axlar och axelgrupper, än av typen av däck.

Med rätt lufttryck i lastbilarnas däck kan vägar jämnas till

En förändring av däckens lufttryck påverkar framförallt deformationer i de övre lagren i en vägkonstruktion. Ett däck med högt lufttryck på en tjäluppmjukad väg kan orsaka stora skador, medan samma fordon med lågt ringtryck snarare "masserar" ut mindre ojämnheter och kan i vissa fall göra vägytan jämnare. 20 % ökat lufttryck gav 10 % till 40 % ökad vägpåkänning, enligt Djärf et al (1989).

Djärf et al (1989) påpekar emellertid att högre lufttryck i däcken inte alltid är skadligare. Skadligheten beror också på kontaktryckets fördelning och kontaktytans geometri. Radialdäck ger, jämfört med diagonaldäck, både jämnare fördelning av kontaktrycket och mer kvadratisk kontaktyta. Diagonaldäckens mer elliptiska kontaktyta ger större dragpåkänning i vägbeläggningen.

Det har framförallt på timmerbilar blivit ganska vanligt med system för övervakning och reglering av däcktryck under färd, så kallade Tire Pressure Control Systems (TPCS). Varianter med olika tekniska lösningar säljs under varumärken som t.ex. Central Tire Inflation system, CTI, Air CTI och BigFoot. Med TPCS kan däckets lufttryck anpassas efter last, underlag och önskad körhastighet under pågående körning. Vänster bild i Figur 22 visar däck med högt lufttryck och därmed kort "fotavtryck", medan höger bild visar samma däck med lågt lufttryck och därmed betydligt längre fotavtryck.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	



Figur 22 Däckets styvhet och kontaktyta kan ändras via TPCS. Foto: J. Granlund.

TPCS gör det möjligt att köra med fullt lass på vägar som på grund av traditionella restriktioner, till exempel under tjällossningen, annars inte är möjliga att köra med mer än några ton på. För ekipage med TPCS kan alltså vägar med såväl tillfälligt som permanent nedsatt bärighetsklass i vissa fall (sträckor utan svaga broar, m.m.) upplåtas för trafik motsvarande högsta bärighetsklass, BK1.

TPCS ger även en rad andra fördelar, så som bättre arbetsmiljö genom lägre färdvibration för föraren.

Enkelmonterade breddäck ger stora nyttor

I synnerhet på semitrailers i fjärrtransport ger enkelmonterade breda däck stora fördelar, medan exempelvis många timmerbilsekipage har parmonterade smala däck.


Till fördelarna med breddäck hör upp till 5 % lägre rullmotstånd, lägre däckkostnad, lägre drivmedelsförbrukning och lägre emissioner av CO₂ och NO_x än med parmonterade däck. Genom att konstruera t.ex. tanksläp för enkelmonterade breddäck, kan tyngdpunkten sänkas och den effektiva spårvidden ökas. Detta medför att risken minskar för vältoyluckor, vilka ofta ger extremt svår skadeföljd. Breddäck kan därmed främja säkra transporter, i synnerhet avseende transporter med farligt gods.

Breddäck ger också lägre ofjädrad massa (två fälgar och två däck färre per axel). Detta gör det möjligt att bygga fordon med 25 % mjukare dämpning, vilket skonar förare, fordon och väggkropp, se Cebon (1999). Ett par hundra kg lägre tjänstevikt per fordon ger dessutom ökad lastkapacitet, vilket bidrar till att färre lastbilsekipage behöver trängas på vägarna.

Vid samma¹⁴ axellast ger enkelmonterade breddäck, jämfört med parmonterade däck, ökat kontaktryck och framförallt ökad skjuvpåkänning ca 3 cm ned i vägbeläggningen. Detta ger större nedbrytningseffekt, i synnerhet på (små) underdimensionerade vägar samt på (större) vägar där brist på bra underhållsstrategi fört fram till en dåligt förvaltd vägkonstruktion med instabila bindemedelsrika beläggningsskikt på ca 3 cm djup. Detta förklaras mer ingående i senare kapitel.

Den samhällsekonomiska vinsten av att använda breddäck i stället för parmonterade däck undersöktes grundligt under ledning av TFK, se Djärf et al (1989). Studien gjordes för två vägkonstruktioner. De var byggda med 80 mm respektive 150 mm asfalt, på 150 mm krossat obundet bärlagergrus vilket vilade ovanpå ett förstärkningslager av 400 mm okrossat grus. Överbyggnaden med 80 mm asfalt motsvarar 228 mm *ekvivalent asfalttjocklek* (begreppet förklarades i avsnittet *Landsvägars uppbyggnad*), medan den med 150 mm asfalt motsvarade 298 mm ekvivalent asfalttjocklek. Lönsamheten med enkelmonterade breddäck konstaterades vara hög på vägar med 80 mm asfalt (medeltrafikerade vägar) och mycket hög på vägar med 150 mm asfalt (medel till högtrafikerade vägar, sett med svenskt perspektiv). Alla berörda parter var eniga om slutsatsen att de ökade väglitagekostnader som orsakas av breddäck är låga, jämfört med de ekonomiska nyttorna.

¹⁴ Normalt används inte breddäck vid lika hög axellast som parmonterade däck. Detta förklaras mer ingående i senare avsnitt.

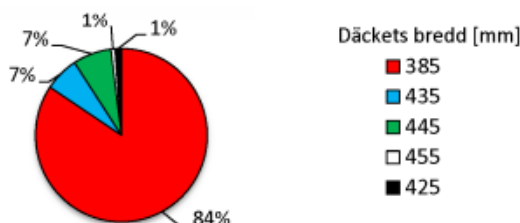
Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Belägningsregistret i Trafikverkets databas PMSv3 visar att det idag är mycket sällsynt med tunnare än 150 mm asfalt på svenska stamvägar, där huvuddelen av lastbilarnas transportarbete utförs. Därmed framstår det mycket tveksamt att begränsa valet av däck när det gäller enkel- eller parmontering.

Samma spårtillväxt med breddäck eller parmonterade däck

Almqvist (2011) studerade vägslitage från enkelmonterade breddäck, jämfört med parmonterade däck. Beräkningsresultat med Trafikverkets modell PMS Objekt för en sektion på Rv 80 med 72 mm asfalt visade att breddäck ger snabbare tillväxt av utmattningspäckor, men samma tillväxt på spårdjup som parmonterade däck.

Almqvist fann också att den i särklass vanligaste bredden hos breddäck är 385 mm; 84 % av 511 kontrollerade axlar med enkelmontage hade 385-däck, se Figur 23.



Figur 23 Fördelning av däckbredd på 511 axlar med breddäck. Källa: Almqvist, 2011.

Ny kunskap om däckens betydelse för klen byggda vägar


År 2014 rapporterade ROADEX en förstudie om axel- och däckskonfigurationers betydelse för underhållsintervallet på lågtrafikerade vägar. Förstudien fokuserade på klen byggda vägar med mycket tunn beläggning, så som 1.5 cm ytbehandling på grus eller 4 cm oljegrus.

Förstudien beaktade en rad faktorer, så som:

- vägens försvagning under tjällossning,
- mjuka undergrundsjordar,
- "kolonnkörningseffekten" i klen byggda vägar, d.v.s. porvattentryck ackumuleras av täta passager av många axlar, vilket kan ge så högt portryck att vägens bärförmåga kollapsar,
- däckens lufttryck, samt
- dynamisk belastning när hjulen studsar och lastbilarnas chassi med nyttolast skumpar fram över ojämnheter i vägbanan.

ROADEX rekommendationer för god hållbarhet hos lågtrafikerade klen byggda vägar:

1. Förbättra vägkroppens dränering (rensa igenslammade diken och vägtrummor, osv.).
2. Förstärk vägkroppen med tjockare obundet bärlager och lägg en ny asfaltbeläggning.
3. Reparera vägojämnheter som ger dynamiska tillskottsbelastningar, d.v.s. vägojämnheter med upp till 30 m våglängd (längre än en lastbil med släpvagn) behöver lagas.
4. Uppmuntra användning av parmonterade däck på sådana tunga fordon som i stor omfattning körs på underdimensionerade vägar.
5. Förhindra överdrivet höga däcktryck.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Kommentarer till den nya kunskapen om vägslitage från breddäck

En förvånande omständighet är att ROADEX förstudie om axel- och däckkonfiguration helt saknar referens till den gedigna studien "Optimalt däckval". Studien om däckval genomfördes 1989 av ledande experter i både Sverige och Finland från såväl fordons-, axel- och däckindustrin som forskningsinstitut och Vägverket, under ledning av Transportforskningskommissionen (TFK).


Den "gamla sanningen" från TFK:s stora studie kvarstår, se Djärf et al (1989). På högtrafikerade vägar med rejält dimensionerad vägkonstruktion dit den dominerande volymen av de tunga vägtransporternas trafikarbete är koncentrerat, ger enkelmonterade breddäck överlägset bäst samhällsekonomi. Åkarna värnar om sina fordon och chaufförer, liksom om vägarna som tillhör grundförutsättningarna för deras näring. Därför väljs regelmässigt optimal däckkonfiguration utifrån känd kunskap. Lösningen är därför att öka relevant kunskap om vägslitage på underdimensionerade vägar, samt dokumentera och kommunicera sådan kunskap till de åkare som bedriver en högre andel av sin trafik på underdimensionerade vägnät. Detta snarare än att införa restriktioner på t.ex. val av däck, vilket sannolikt minskar effektiviteten.

Enkelmonterade breddäck ger ökat slitage på underdimensionerade sträckor av lågtrafikerade vägar. Skillnaden i vägslitage med parmonterade däck är emellertid mindre än vad många studier hävdar, dels tack vare att breddäck körs med lägre axellast och dels på grund av att parmonterade däck regelmässigt ger ökat vägslitage på vägar som inte är jämna (det är sällsynt att underdimensionerade vägar inte är ojämna). Även bland de fall där enkelmonterade breddäck ger ökat vägslitage på småvägar, är det ofta samhällsekonomiskt försvarbart att köra med breddäck och därigenom minska transportkostnaden på alla vägar lastbilen kör, till priset av förkortad tidsfrist till dess de underdimensionerade sträckorna oundvikligen måste förstärkas.

Den upplyste åkaren är den som har bäst förutsättning att göra klokt val av däck, med hänsyn till sin kunskap om vilken mix av vägar lastbilsekipaget kommer att köras på. Ett bra exempel på etablerat ömsesidigt ansvarstagande mellan väghållare och åkerinäring utgörs av den typ av policy för minimerad begränsning av bruttovikt och axellaster under tjällossningsperioden, vilken sedan 1990-talet framgångsrikt tillämpas i stora delar av Sverige liksom i Norge.

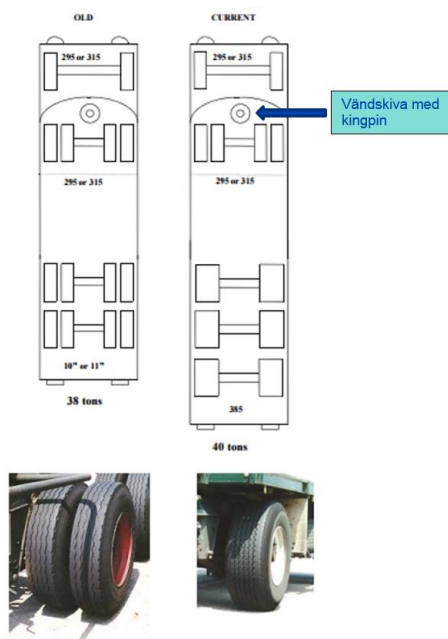
ROADEX förstudie lyfter fram en handfull insikter för godstransporter med lastbil på lågtrafikerade landsvägar. Flera av dessa insikter är "*no brainers – just do it!*" De är alltså inget att fundera över, utan bör genomföras snarast; oavsett 60, 64 eller 74 ton liksom oavsett typ av lastbilsdäck. Exempel på sådana åtgärder är att rensa igensatta diken och vägtrummor, samt förstärka underdimensionerade vägsträckor.

ROADEX förstudie bör följas upp av en huvudstudie som undersöker lämpliga strategier för godstransporter på underdimensionerade vägar under tjällossningsperioden. En strategi kan vara att använda TPCS, system för reglering under körning av däckens lufttryck, för att helt eller delvis kompensera för det ökade vägslitaget från enkelmonterade breddäck.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Vägslitage från breddäck överdrivs regelmässigt

I Europa domineras fjärrtransporterna fullständigt av EU-semitrailers med kort tvåaxlad dragbil. Breddäck slog igenom på 1980-talet. Detta sedan max bruttovikt för EU-semitrailerekipage höjts från 38 till 40 ton. Typfallet är semitrailers, där två st 10-ton saxlar med parmonterade däck ersatts med tre st 8-ton saxlar med enkelmonterade breda däck, se Figur 24.



Figur 24 5 ton per parmonterade däck ersätts med 4 ton per enkelmonterat breddäck.


Källa: COST 334.

En nackdel med enkelmonterade breddäck är att vid hög axellast och högt luftryck kan de ge hög skjuvspänning i övre delen av vägkonstruktionen.

Ett vanligt men allvarligt fel i vägtekniska analyser, är att vägpåkänning vid 10 ton axellast (50 kN hjullast) på parmonterade däck jämförs med samma axellast på enkelmonterade breddäck. Breddäck sitter regelmässigt på 8-ton saxlar eller 9-ton saxlar och därmed bär 1 - 2 ton lägre axellast än vad beräkningarna felaktigt utgår från. Bland breddäck med standardbredden 385 mm är endast ett fåtal godkända att bära så hög hjullast som 5 ton (50 kN). Detta innebär att många vägtekniska analyser av skillnad mellan däckkonfigurationer faktiskt saknar relevans.

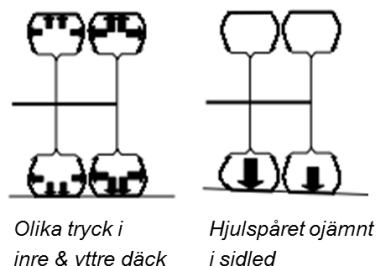


Som läsande intressent eller beslutsfattare bör man, enligt ovanstående fakta, regelmässigt förkasta studier där vägslitage beräknats för 50 kN hjullast på enkelmonterade breddäck smalare än (den ovanliga) bredden 425 mm.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Parmonterade däck ger ökat vägslitage på ojämna vägar

COST 334 pekar på att vägslitaget ökar vid körning med dubbelmonterade däck på vägar som redan är spåriga och ojämnt deformerade, i synnerhet vid ojämnt däcktryck, se Figur 25.



Figur 25 Parmonterade däck ger ökat vägslitage på ojämna vägar. COST 334.

Djurf et al (1989) listar många exempel på andra faktorer som också ger ojämnt fördelad belastning; t.ex. skillnad i slitage hos däcken, olika däck (fabrikat, modell), nytt däck parmonterat med regummerat däck, vägbans tvärfall samt axelböjning. Ojämn belastning till följd av skillnad i däcktryck 500 kPa respektive 1000 kPa resulterade i belastningsökning med upp till 90 % (mindre ökning vid högre axellast).

Många hjul med dubbelmonterade däck har stor skillnad i de båda däckens lufttryck, eftersom det inre däckets ventil kan vara svår att komma åt utan att ta isär hjulet. Därmed är risken stor att parmonterade däck ger minst lika högt vägslitage som enkelmonterade breddäck. Med TPCS-teknik kan denna risk elimineras.

Fjärdepotensregeln för olika däckkonfigurationer

Det ekvivalenta antalet 10-ton standardaxlar för ett tungt lastbils ekipage, beroende av såväl axelkonfigurationer som däckkonfigurationer, beräknas enligt *fjärdepotensregeln* i version enligt Formel 2. Originalversionen av denna formel är fastställd av danska Vegdirektoratet. Se Jansen (2002) eller NVF (2008) för fullständig uppsättning av värden på korrektionsfaktorer, vilka ger möjlighet att utvärdera vägslitage från exempelvis extrema dispenstransporter.

Formel 2 Fjärdepotensregeln för axellasters, axel- samt däcktypers inverkan på vägslitaget

$$ESAL_{10} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \frac{A_i * B_{ij} * C_i * D_{ij}}{m_i} \left(\frac{P_{ij}}{5}\right)^4$$

Där:

$ESAL_{10}$ = Antal 10 tons standardaxlar för fordonet, i aktuellt hjulspår.

P_{ij} = Last [ton] per hjul på axel nr ij .

n = antal axelgrupper hos ekipaget.


m_i = antal axlar i axelgrupp nr i .

A_i är en faktor som tar hänsyn till både antal axlar i axelgrupp nr i och avståndet mellan axlarna inom axelgruppen.

B_{ij} är en faktor som beaktar däckkonfigurationen på axel nr ij .

C_i är en faktor som beaktar typen av fjädringssystem hos axelgrupp nr i .

D_{ij} är en faktor som beaktar lufttrycket i däcken på axel nr ij .

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Korrigeringsfaktorer till fjärdepotensregeln

Nedan redovisas korrigeringsfaktorerna A, B, C & D för fjärdepotensregeln i version enligt Formel 2.

A_i : Antal axlar i axelgrupp nr i och avståndet mellan axlarna inom axelgruppen

Korrigeringsfaktorn A_i har olika värde för vägkonstruktioner som är rejält dimensionerade respektive för klenare vägkonstruktioner. A_i redovisas i Tabell 1.

Tabell 1 Korrektionsfaktor A_i för axlar inom axelgrupp

Antal axlar i axelgruppen	A_i					Klent byggd väg Oavsett avstånd mellan axlar [m]
	Rejält dimensionerad vägkonstruktion					
	Avstånd mellan axlar [m]					
	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	
2	1.05	1.25	1.40	1.55	1.75	2
3	-	1.50	1.90	2.20	2.50	3
>3	*	*	*	*	*	*

* Se NVF (2008) för A_i vid upp till 8 axlar inom axelgrupp på dispensfordon.


Var går då skiljelinjen mellan klen och rejäl vägkonstruktion? Det måste ses i förhållande till den trafikering vägen utsätts för. Jansen (2002) hänvisar till COST 334. COST-projektet beskrev i bärighetsperspektiv vägöverbyggnaden med måttet "ekvivalent tjocklek". Vid mätning på denna skala räknas obundna överbyggnadslager om till *ekvivalent asfalttjocklek*, med en "växelkurs" som säger att 1 cm asfalt strukturellt sett är jämförbart med 3.1 cm obundet krossat grus eller med 4 cm obundet sandigt okrossat grus. En kartläggning av europeiska vägdimensioneringsregler jämförde uppbyggnaden hos vägar som under designperioden (normalt 20 år) trafikeras av 1 miljon respektive 10 miljoner standardaxlar ESAL₈¹⁵. Lagertjocklekarna varierar rejält mellan EU-länderna. För vägar med 1 miljon ESAL₈ används i medeltal 27 cm ekvivalent asfalttjocklek, fördelat på 12 cm asfalt (variation från 2.5 till 30 cm) och 45 cm obundet grus. För vägar med 10 miljoner ESAL₈ används i medeltal 38 cm ekvivalent tjocklek, fördelat på 22 cm asfalt och 47 cm obundet grus. I Sverige och andra länder som bygger väg med tjockare gruslager (vilket ger ökat tjälskydd), används tunnare asfaltlager. EU-länderna uppvisar därmed större variation för asfaltens tjocklek, än för den ekvivalenta asfalttjockleken.

Korrigeringsfaktorn A_i beaktar för rejält dimensionerade vägkonstruktioner endast primär spårbildning i asfalten, medan faktorn för klen byggda vägar istället beaktar sekundär spårbildning (permanent deformation under beläggningen). För en enkel axel är $A_i = 1$.

På klena vägar, samt vid avstånd mellan axlar på mer än 1.8 m, är A_i lika med antalet axlar i gruppen.

På bäriga vägar innebär en axelgrupp med kort avstånd mellan axlarna att vägslitage minskas, jämfört med vägslitage från lika många och tunga axlar med större avstånd mellan axlarna. Därför är A_i lägre än antalet axlar vid analys för tung trafik på välbyggda vägar; ju kortare avstånd mellan axlarna desto lägre är faktorn A_i .

¹⁵ Obs: COST 334 relaterar till en brittisk referensaxel med 8 tons last (ESAL₈), inte till 10 tons last (ESAL₁₀) som i Sverige.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

B_{ij} : Däckkonfigurationen på axel nr ij

Korrigeringsfaktorn B_{ij} är lika med 1, om axeln har dubbelmonterade däck. För axel med enkelmonterat däck har B_{ij} ett värde större än 1. B_{ij} redovisas i Tabell 2. Observera att enkelmonterade däck med standardbredd 385 mm oftast används vid hjulbelastning under 4 000 kg (axellast 8 ton). Dessa däck är m.h.t. lastkapacitet inte godkända för hjulbelastning högre än 4 500 kg, d.v.s. 9 ton axellast. Observera att justering för aktuell axellast sker via efterföljande term P_{ij} .

Tabell 2 Korrektionsfaktor B_{ij} för axelns däckkonfiguration

Däckdimension bredd [mm]	B_{ij}
315	2.91
385	2.19
**	**

**Se NVF (2008) för B_{ij} vid andra däckdimensioner.

C_i : Typ av fjädringssystem hos axelgrupp nr i

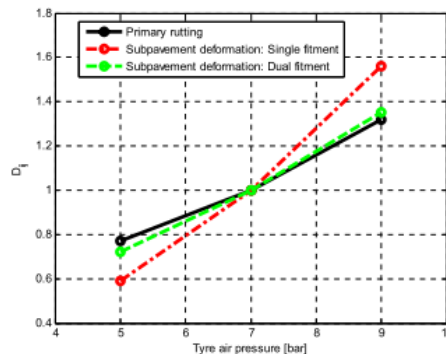
Korrigeringsfaktorn C_i för "vägvänlighet" hos en rad fjädringssystem redovisas i Tabell 3.

Tabell 3 Korrektionsfaktor C_i för axelgruppens fjädringssystem


Fjädringsteknik	C_i
Bladfjädrar	1.0
Parabelfjädrar	
Spiralfjädrar	
Luftfjädring	0.95

D_{ij} : Lufttryck i däcken på axel nr ij

Luftrycksfaktorn D_{ij} skiljer mellan enkelmonterade bredddäck och parmonterade däck, samt mellan primär spårbildning på rejält byggda vägar och sekundär spårbildning i obundna material på klent byggda vägar. D_{ij} avläses i diagrammet i Figur 26. D_{ij} är i stort sett linjär i förhållande till däckets luftryck.














Figur 26 Korrektionsfaktor D_{ij} för luftryck i däcken på axel nr ij

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	


10. VÄGSLITAGE PER FORDONSKOMBINATION

Efterföljande vägslitageberäkningar är utförda för fordonskombinationer definierade enligt Tabell 4, lastade till högsta tillåtna vikt.

Tabell 4 Svensk fordonsskatt för vägavgiftspliktiga fordon, samt miniminivåer enligt Euroinjettdirektivet för lastbilar och lastbilståg givet luftfjädring eller likvärdig fjädring. Tabellen inkluderar tyngre fordon än idag tillåtna. Källa: Vägskatt och svensk åkerinäring, WSP.

	Fordonskombination	Skattevikt [ton]	Årlig fordonsskatt [SEK]			Miniminivå EU [Euro]
			Lastbil / dragbil	Släp / dolly	Summa	
1	 Utan draganordning, ej vägavgiftspliktig	7.5	5413	-	5413	-
2	 Utan draganordning	18	2799	-	2799	121
3	 Utan draganordning	26	3525	-	3525	222
4	 Utan draganordning	18 + 24	7213	0	7213	515
5	 Utan draganordning	25 + 24	9491	0	9491	225
6	 Utan draganordning	25 + 24 + 20	9491	9140	18631	336
7	 PHV	25 + 18 + 24	500	14650	15150	336
8	 Släp	25 + 36	500	14305	14805	336
9	 Utan draganordning	25 + 20 + 24	9491	0	9491	336
10	 Utan draganordning	32 + 18 + 24	500	14650	15150	336
11	 Utan draganordning	25 + 24 + 18 + 24	9491	14650	24141	336

Till skillnad från många andra studier av fordonskombinationers vägslitage, tar beräkningarna nedan hänsyn även till axel- och däckkonfigurationer. Beräkningarna är utförda i enlighet med fjärdepotensregeln, i den "danska versionen" enligt Formel 2.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Vid vissa typer av körning, t.ex. fjärrtransport typ "långtradare" används ofta smalare styrdäck än vad som är praxis vid t ex rundvirkeskörning. Av jämförbarhetsskäl förutsätts dock genomgående att styrdäcken har 385 mm bredd. Jämförande beräkningar visar att när fordonskombination 2 (med hög framaxellast) förses med 315 mm breda styrdäck istället för 385 mm styrdäck, ökar vägslitageet från den tvåaxlade lastbilen med 9 %.

Av jämförbarhetsskäl förutsätts genomgående luftfjädring, vilket medför att korrektionsfaktorn C_i är lika med 0.95. Med enkel parabelfjädring (ganska ovanligt numera) ökar vägslitageet med 5 procentenheter, vilket skulle medföra användning av korrektionsfaktor C_i lika med 1.0.

Däckens lufttryck ansätts i utgångspunkt till 7 Bar. Däcktillverkarens belastningstabeller (Nokian Truck Tyres¹⁶ samt Continental¹⁷) visar att vid de aktuella däckdimensionerna medges för fordonskombination 10 (ett 74 tons ekipage) inte tillräcklig lastkapacitet på styraxeln vid lufttryck 7 Bar. För detta fall ansätts istället 8 Bar lufttryck i styrdäcken. Lufttryck 7 Bar medför att korrektionsfaktorn D_j är lika med 1. Med 8 Bar ökas korrektionsfaktorn D_j till upp emot 1.3 på klent byggda vägar.

Resultaten gäller endast för de förutsättningar som beräkningarna utgått från. Olika typer av körförhållanden leder till olika optimala val av axeldimension, däck, lufttryck i däcken o.s.v. för samma typ av fordonskombination. Genom att ändra på axel- och däckkonfigurationerna kan signifikant annorlunda resultat fås. Därmed ska följande resultat ses som exempel för respektive fordonskombination.

Särskilt för fordonskombinationen EU-semitrailer bakom tvåaxlad dragbil är det lätt att oavsiktligt skapa överlast på drivaxeln, utan att ekipaget som helhet har bruttovikt-överlast. Frekvensen av överlast på axel är därför exceptionellt hög för denna typ av fordonskombination. Överlast behandlas i eget avsnitt.

Sammanställning över fordonens vägslitage och vägstnader

För att effektivt tillgodose näringslivets behov av tunga transporter, under beaktande av det totala vägslitageet från alla lastbilskörningar tillsammans, är det viktigt att vägslitageet per ton nyttolast är lågt. En annan samhällsaspekt är att minimera antalet lastbilar på vägnätet, vilket betyder att lastbilar med låg nyttolast-kapacitet ska undvikas för längre transporter.


Detaljerade beräkningar redovisas i Bilaga 1 Vägslitageberäkningar, medan översiktliga sammanställningar av resultaten redovisas nedan.

Inledningsvis konstateras att Sveriges traditionella 60-tonsekipage med 7 axlar har medelaxellast på 8.6 ton/axel. Vissa av dessa ekipage får sedan 1 juni 2015 köra 64 ton, vilket i medeltal ger 9.1 ton/axel. Detta är avsevärt högre än för 60-tonsekipagen och medför högre vägslitage per körning. Räknet per ton nyttolast påverkas inte vägslitageet så mycket, eftersom hela viktökningen från 60 till 64 ton utgjorts av nyttolast utan att tjänstevikten ökat. Med en extra axel, ger 64 ton en medelaxellast på 8.0 ton/axel men detta till priset av ett ton lägre nyttolast. Den dag 74 ton bruttolast tillåts, väntas de flesta ekipage ha endera 9 axlar eller 11 axlar. Med 9 axlar får fullastade 74-tonnare en medelaxellast på 8.2 ton/axel. Fordonskombinationen 74 ton på 11 axlar ger 6.7 ton/axel. Denna översiktliga beräkning indikerar alltså att en kommande 74-tonsreform (kopplad till minst 2 axlar till) medför att vägslitageet minskar, jämfört med transporter med traditionella svenska 60-tonsekipage.

Resultat från detaljerade beräkningar i *Bilaga 1 Vägslitageberäkningar* visar att vägslitageet kan mer än halveras, genom att på fjärrtransporter byta EU-semitrailer bakom tvåaxlad dragbil (fordon nr 4, med totalvikt 40 ton), mot modulekipage som fraktar avsevärt mer gods (fordon nr 6 till 11 har mycket högre nyttolast-kapacitet). Modulekipagen utsätter samtidigt vägbanan för lägre kontaktryck, tack vare fler axlar och däck i förhållande till lasten.

¹⁶ <http://www.nokianheavytyres.com/tyres/trucks-and-buses/tyre-recommendations-and-instructions/>

¹⁷ http://www.conti-online.com/www/download/transporte_mx_es/general/tech_info/download/technical_data_book_en.pdf

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

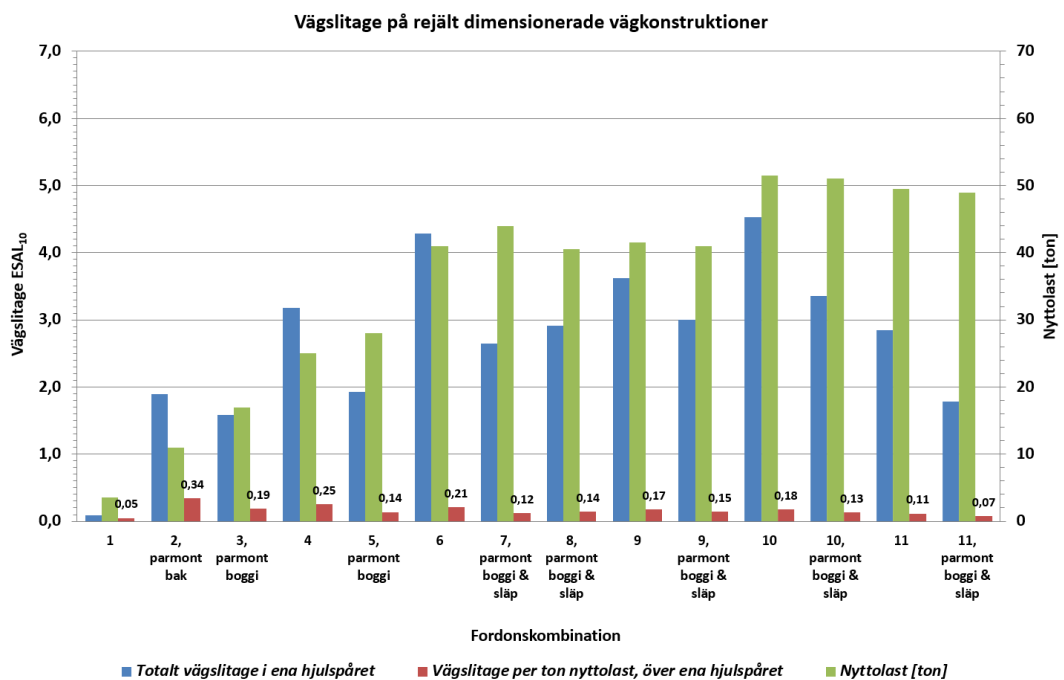
Resultat i följande avsnitt visar att jämfört med parmonterade däck, ger enkelmonterade 385 mm breddäck beräkningsmässigt upp till 64 % högre vägslitage per ton nyttolast. Observera att detta gäller enbart medan vägbanan är jämn. Orsaken är att på ojämn väg kan parmonterade däck tvärtom slita mer än enkelmonterade breddäck, se COST 334.

Resultaten visar också att vägslitage från tunga lastbilar ökar kraftigt (upp emot 50 %) på underdimensionerade vägar, jämfört med samma transport på rejält dimensionerade vägkonstruktioner. Detta visar den stora potentialen för minskat vägslitage, genom att förstärka klen byggda vägkroppar på tungt trafikerade sträckor.

Variationsvidden i vägslitage är flerfaldigt större mellan lastbilstyper, än mellan däckkonfigurationer.

Vägslitage på rejält dimensionerade vägkonstruktioner

Resultat för transporter på välbyggda vägar visas sammanställda i Figur 27 för fordonskombinationerna från Tabell 4. Observera att nyttolasten [ton] avläses på diagrammets högra värdeaxel. Innan vägslitage per hjulspår normerats till nyttolasten, har nyttolasten dividerats med 2 (hjulspår).




Figur 27 Fordonskombinationernas nyttolast och vägslitage på välbyggda vägar

På välbyggd väg ges lägst vägslitage per ton nyttolast av fordon nr 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10 samt 11.

Nr 1 är en liten tvåaxlad lastbil. Dess låga vägslitage uppvägs av nackdelen att frakta bara ett par ton nyttolast. Det innebär behov av tiofaldigt fler lastbilar (och därmed ökad trängsel på vägarna) för att frakta samma godsvikt som fordonskombinationerna 6 - 11.

För fordon med mer än 3.5 ton nyttolast fås allra lägst vägslitage per ton nyttolast med 74-ton ekipage nr 11. Även det andra 74-ton ekipaget, nr 10, ger lågt till måttligt vägslitage per ton nyttolast.

Fordonskombination nr 5 är en semitrailer bakom boggiaxlad dragbil. I vägslitagesynvinkel är detta 44 ton ekipage helt överlägsen en likadan semitrailer (4 ton lättare lastad) bakom tvåaxlad dragbil (fordonskombination nr 4).

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

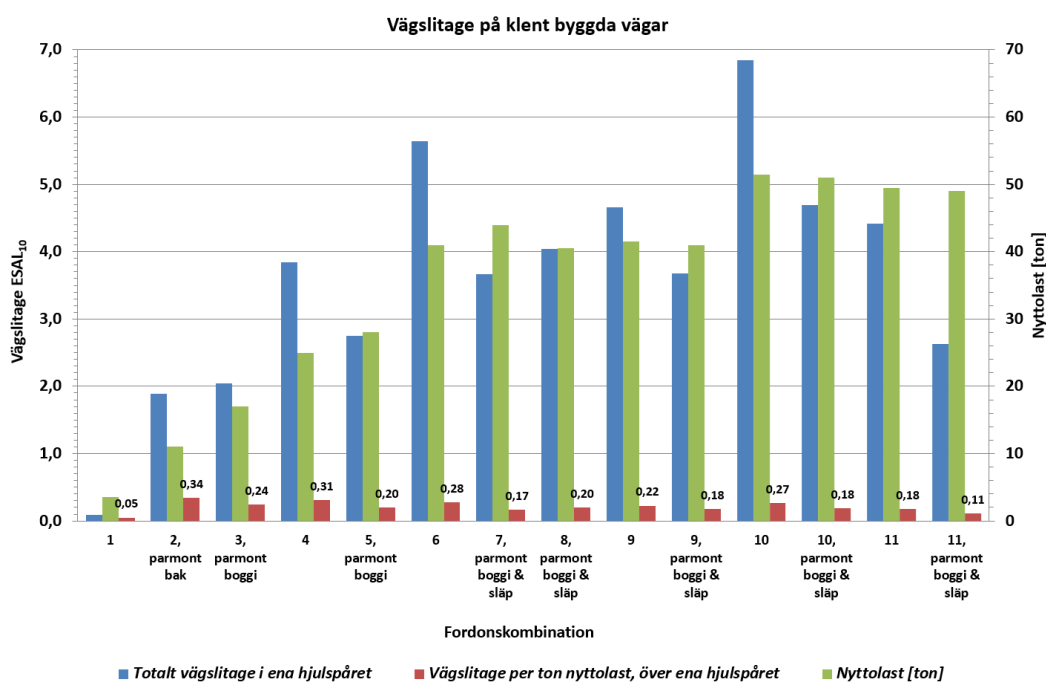
Fordonskombinationerna 6 & 7 har totalvikt 64 ton, medan nr 8 har 60 ton (liknar nr 7 men med 3.5 ton lägre last och en axel mindre). Dessa tre sliter alltså lika mycket eller mer på vägarna (räknat per ton nyttolast), som de båda 74 ton ekipagen.

Jämfört med parmonterade däck, ger enkelmonterade breddäck från 13 % till 57 % högre vägslitage per ton nyttolast (se fordonskombinationerna 9, 10 och 11). Observera att detta gäller enbart medan vägbanan är jämn. Orsaken är att på ojämn väg kan parmonterade däck tvärtom slita mer än enkelmonterade breddäck, se COST 334.

Variationsvidden i vägslitage är flerfaldigt större mellan lastbilstyper, än mellan däckkonfigurationer.

Vägslitage på klen byggda vägar

Resultat för transporter på klen byggda vägar visas sammanställda i Figur 28. Observera att nyttolasten [ton] avläses på diagrammets högra värdeaxel.




Figur 28 Fordonskombinationernas nyttolast och vägslitage på klen byggda vägar

På klen byggda vägar ökar vägslitaget med upp till 50 %, jämfört med samma trafiklast på välbyggda vägar. Detta ses genom att jämföra data i Figur 28 med data i Figur 27.

På de klen byggda vägarna ökar också nyttan av att köra på parmonterade däck.

Fordonskombinationerna 9, 10 & 11 ger 22 %, 50 % respektive 64 % högre vägslitage per ton nyttolast, då de körs på enkelmonterade breda däck istället för på parmonterade däck. Observera att detta gäller enbart medan den klena vägbanan är jämn. Orsaken är att på ojämn väg kan parmonterade däck tvärtom slita mer än enkelmonterade breddäck, se COST 334.

Variationsvidden i vägslitage är flerfaldigt större mellan lastbilstyper, än mellan däckkonfigurationer.

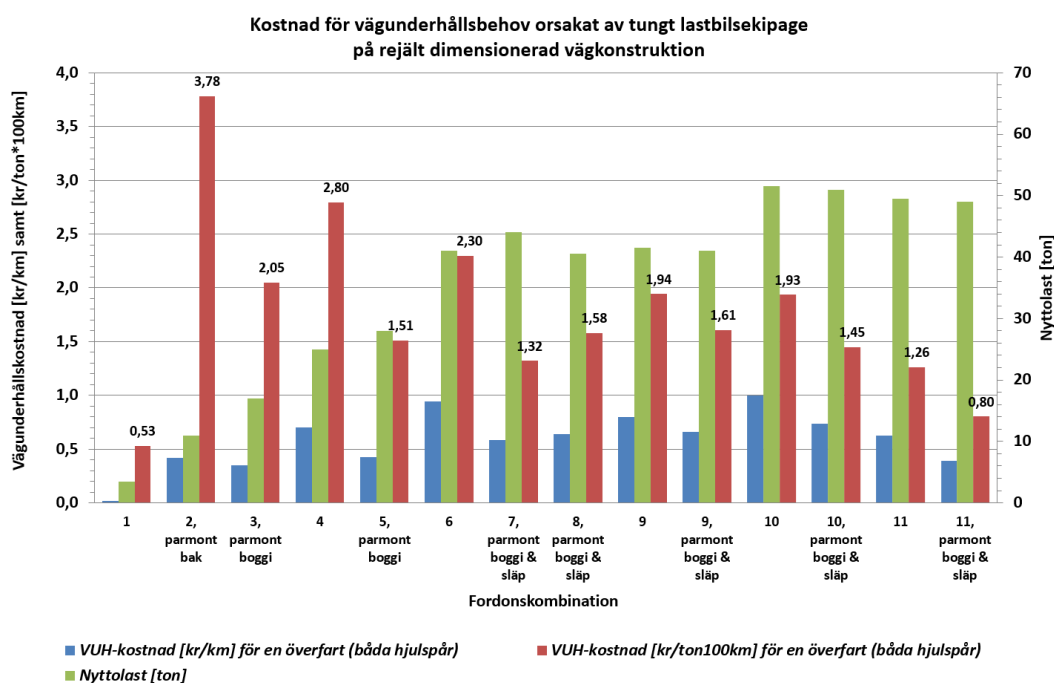
Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Lastbilens vägslitagekostnad på rejält dimensionerade vägkonstruktioner


Kostnaden för vägunderhåll orsakat av tunga lastbilar på välbyggda vägar visas sammanställda i Figur 29 för fordonskombinationerna från Tabell 4. Observera att nyttolasten [ton] avläses på diagrammets högra värdeaxel.

Som synes orsakar fordonskombinationerna nr 2 (tungt lastad 18 tons tvåaxlig lastbil) samt nr 4 (40 tons EU-semitrailer med tvåaxlig dragbil) i särklass högst vägslitage per ton som fraktats 100 km på välbyggd väg. Alla fordonskombinationer med bruttovikt minst 44 ton ger måttligt vägslitage per ton*100km. Bortsett från fordonet med mycket låg lastkapacitet, nr 1, fås allra lägst vägslitage per ton*100km med fordonskombination 11 (74 tons ekipage) på parmonterade däck.

Variationsvidden i vägunderhållskostnad är flerfaldigt större mellan lastbilstyper, än mellan däckkonfigurationer.



Figur 29 Fordonskombinationernas nyttolast och vägslitagekostnad på välbyggd väg

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Lastbilens vägslitagekostnad på klint byggda vägar

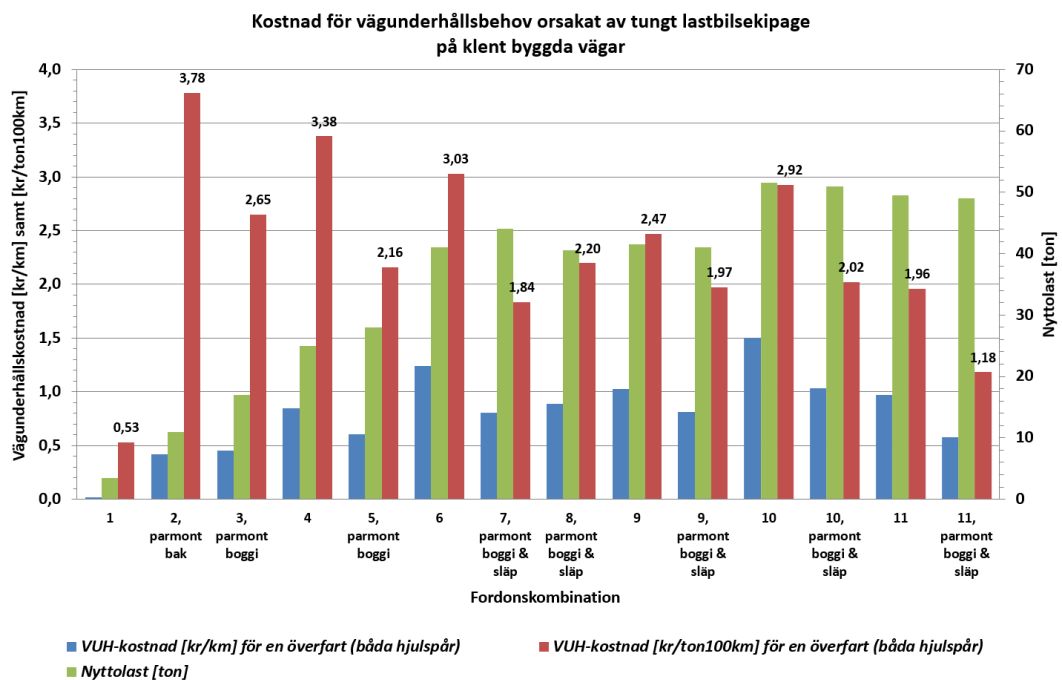
Kostnaden för vägunderhåll orsakat av tunga lastbilar på klint byggda vägar visas sammanställda i Figur 30 för fordonskombinationerna från Tabell 4. Observera att nyttolasten [ton] avläses på diagrammets högra värdeaxel.

På klint byggda vägar ökar kostnaderna för vägunderhåll orsakat av lastbilskeppage med axelgrupper rejält, jämfört med samma trafiklast på välbyggda vägar. Detta märks genom att jämföra staplar för fordon med axelgrupper i Figur 30 med motsvarande staplar i Figur 29.


I likhet med på välbyggda vägar orsakar fordonskombinationerna nr 2 (tungt lastad 18 tons tvåaxlig lastbil) samt nr 4 (40 tons EU-semitrailer med tvåaxlig dragbil) i särklass högst vägslitagekostnad per ton som fraktats 100 km på klint byggd väg. Alla fordonskombinationer med bruttovikt minst 44 ton ger måttligt vägslitage per ton*100km. För fordon med mer än 3.5 ton nyttolast visar beräkningarna att fordonskombination nr 11, d.v.s. ett 74 tons ekipage med elva axlar, är skonsammast mot underdimensionerade vägar.

Den ekonomiska nyttan av att köra på parmonterade däck ökar på underdimensionerade vägar, jämfört med på välbyggda vägar. Observera att detta gäller enbart medan den underdimensionerade vägbanan är jämn (och vilken klint byggd landsväg är jämn någon längre tid?). Orsaken är att på ojämn väg kan parmonterade däck tvärtom slita mer än enkelmonterade breddäck, se COST 334.

Variationsvidden i vägunderhållskostnad är flerfaldigt större mellan lastbilstyper, än mellan däckkonfigurationer.



Figur 30 Fordonskombinationernas nyttolast och vägslitagekostnad på klint byggd väg

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

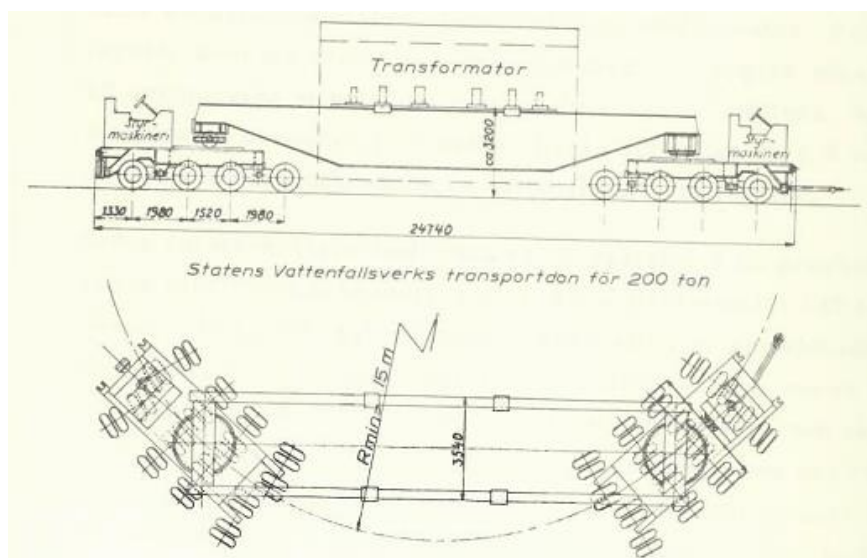
11. BRUTTOVIKTEN SAKNAR BETYDELSE

Enligt fjärdepotensregeln för vägslitage från tunga fordon saknar bruttovikten för hela ekipaget betydelse för vägarnas slitage. Bruttovikten är enligt Formel 1 inte ens en parameter, utan det är endast axellasterna och det sammanlagda antalet axlar som påverkar vägslitage.

Upp till 600 ton bruttovikt har inte skadat vägbanan

Det sker varje år ett stort antal transporter med dispens för extremt hög bruttovikt på allmänna vägar. Gemensamt vid denna typ av dispenstransporter är att lastens vikt fördelas på ett mycket stort antal hjul, så att kontaktrycket mot vägbanan inte är högre än vid vanliga lastbilstransporter.


De första supertunga transportererna i Sverige skedde under vattenkraftens utbyggnadsepok i början på 1950-talet. Statliga Vattenfall hade då låtit bygga en specialkonstruerad vagn med lastförmåga 200 ton och tjänstevikt 80 ton, d.v.s. totalvikt 280 ton. Vagnen hade 64 hjul, fördelade på 16 axlar och visas i Figur 31. Vagnen drogs av två fordon och knuffades på av ytterligare ett fordon. Med denna vagn fraktades transformatorer med vikter på över 180 ton till flera kraftverk, bl.a. Midskogsforsen i Jämtland. Transporterna gick över både grusvägar och belagda vägar, på vissa sträckor grundlagda på mycket svag myrmark. Innan transportererna förstärktes väggkroppens bärförmåga, bland annat genom att bredda vägrenarna med 1 + 1 meter för att ge sidostöd som ökar bärförmågan nära vägkanten. Transporterna gick bra. Ett par mm elastisk deformation uppmättes när vagnen passerade, men inga bestående deformationer eller sprickor uppstod (Odemark, 1956).



Figur 31 Vattenfalls 280 tons transportfordon anno 1952

Trafikverket har låtit laserskanna vägbanan före och efter extrema dispenstransporter. Ett exempel var Kraftdragarnas transport på 600 ton mellan Horndal och Hedesunda år 2011.


Vid supertunga dispenstransporter är hastigheten lägre än vid normal lastbilstrafik. Lägre hastighet ger på avsnitt med mjuk undergrund ett ökat porvattentryck, vilket medför ökat vägslitage. Den lägre hastigheten gör de supertunga dispenstransportererna mer skadliga för vägen. Trots detta, har alltså inget onormalt vägslitage observerats från transporter med upp till 600 ton bruttovikt på normalt byggda vägar.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Vissa broar begränsar höga bruttovikter

I infrastrukturen utgör vissa broar en begränsning för att tillåta högre bruttovikter inom befintlig fordonslängd. Med ökad fordonslängd till exempelvis 34 m skulle påkänningarna¹⁸ på broarna minska.

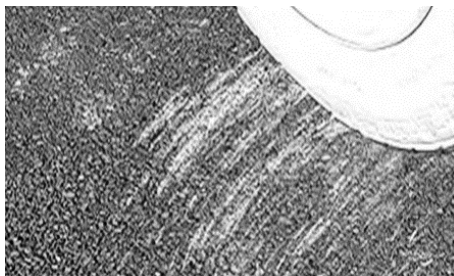
¹⁸ Påkänning betyder spänningar i konstruktionen; "kraft per ytenhet".

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

12. SÅ FÖREBYGGS "NYA" TYPER AV VÄGSKADOR

Skavsår från däck som dras i sidled över vägytan

Vägar dimensioneras för vertikala belastningar, medan de horisontella belastningar som uppstår vid gaspådrag, bromsning och styrning vanligtvis är så låga i förhållande till hållfastheten hos vägbeläggningen att de inte beaktas. För att kunna bygga tyngre fordon utan att öka de vertikala påkänningarna på vägen, utrustas tyngre fordon med fler axlar. Dessa placeras ofta i axelgrupper. När axlar placeras tätt, minskas storleken på de töjningar som uppstår ett par centimeter under vägytan. Emellertid kan dåligt utformade axelgrupper skapa problem. När ett fordon med lång axelgrupp svänger, måste gruppens yttre axel styra med i svängen, annars kommer axelns däck att dras i sidled på vägytan. Detta kan ge särskilt hög horisontell skrubbande belastning och skjuvpåkänning på slitlagrets ytsten och det bindemedel som håller fast stenarna. Resultatet är "skavsår" på vägytan, se foto i Figur 32.




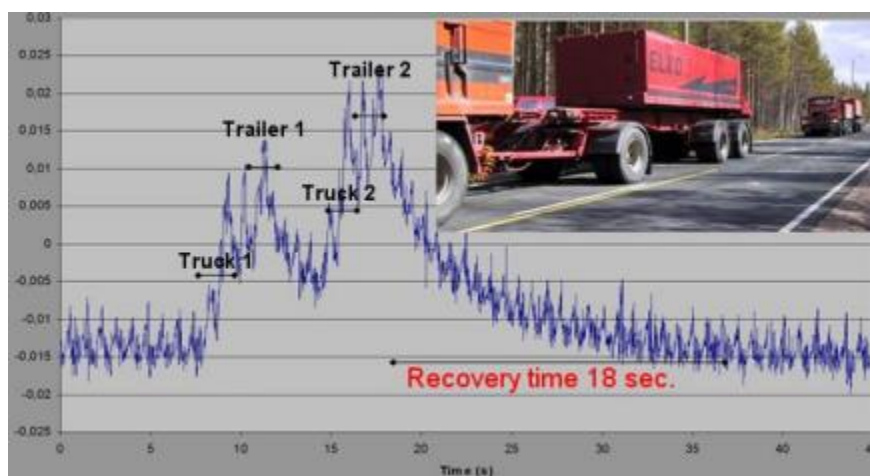
Figur 32 Skavsår på vägytan från tungt belastade däck som "dras i sidled"

Risken för skavsår är störst i samband med tvära lågfartssvängar i korsningar och extremt snäva kurvor, samt när ekipaget vänder. Skrubbskadorna kan bli mycket svåra på tunn och mjuk vägbeläggning (oljegrus eller enkel ytbehandling på grus). Dessa tunna beläggningar används huvudsakligen på lågtrafikerade vägar. Vällande fordon är vanligtvis mycket långa, och avgörande för risken är om fordonet har långa avstånd mellan icke medstyrande axlar i samma axelgrupp. Denna typ av axelgrupper har varit mindre vanlig i Sverige. Risken för skavsår kan i vissa fall också hanteras genom att "problem axeln" är medspårande eller utrustas med hydraulisk lyft och lättas från vägbanan vid tvär sväng.

Undvik kolonnkörning med många axlar på lösjordssträckor

Kolonnkörning kan på lösjordssträckor ge mycket svåra skador under och i väggroppen. Orsaken är att på svaga vägpartier grundlagda på lösjord, med långsam dräneringshastighet, kan efterföljande hjulpassager samverka och bygga upp höga porvattentryck i lera och andra finkorniga jordlager under vägen. Porvattentrycket sänker jordlagrens effektivspänning, vilket ger kraftigt sänkt bärförmåga hos marken under väggroppen. Högt porvattentryck kan därför medföra att vägens bärförmåga kollapsar. Det är därmed viktigt att långa tunga fordon - trots många axlar - inte kör tätt efter varandra på lösjordssträckor. Detta gäller i synnerhet under tjällossningsperioden. Diagrammet i Figur 33 visar hur porvattentryck byggs upp i förstärkningslagret. Detta lager inuti väggroppen ska vara väl-dränerat. Att lagret trots allt uppvisar höga porvattentryck, innebär att diagrammet kommer från mätning på en väg med uppenbart usel dränering. Dräneringen kan förbättras genom t.ex. dikesfördjupning.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	




Figur 33 Porvattentrycket under vägens bärlager kan ackumuleras vid kolonnkörning.

Källa: ROADEX, Koskenkylä Percostation.

Den nödvändiga tidluckan mellan lastbilsekipagen anses under vissa förhållanden vara flera minuter lång, för att porvattentrycket ska hinna dränera ut från det ena fordonets sista axel till den första axeln på följande fordon. Vid de malmtransporter som skett med 90-tons lastbilar från gruvor i Pajala till Malmbanan i Svappavaara har ekipagen hållit mer än 4 minuters tidlucka för att förebygga vägsador orsakade av ackumulerat porvattentryck.

Ännu har inte nationella mätningar bekräftat detta fenomen som vanlig skadeorsak, sett över vårt lands vägnät i helhet. Fenomenet ackumulerat porvattentryck från efterföljande axelpassager bör utforskas närmare. Vid behov kan skador till följd av detta fenomen förebyggas, genom att förhindra kolonnkörning på kritiska lösjordsavsnitt och i synnerhet under tjällossningsperioden.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

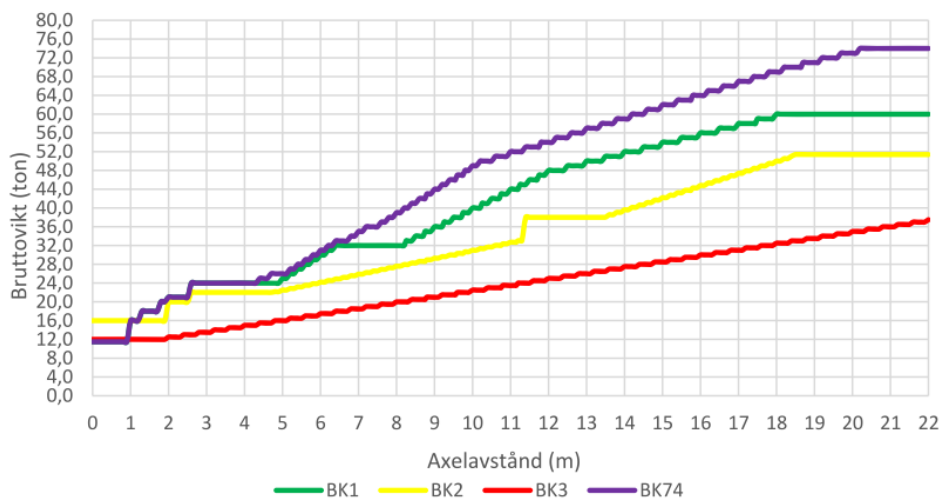
13. BESTÄMMELSER FÖR LASTBILARS VIKT

Viktbestämmelserna för bärighetsklass BK1 gäller på ca 94 % av det allmänna vägnätet (95 % på det statliga vägnätet). Inom tätorter är andelen BK1-gator i regel lägre, och för övriga delar av vägnätet gäller BK2, BK3 eller särskilda lokala viktbegränsningar.


Sammanfattning av viktbestämmelserna för BK1

Extremt hög axellast till följd av felaktig lastfördelning eller olagligt hög bruttovikt, orsakar onormalt snabbt väglitage.

- Axellasten får uppgå till högst 11,5 ton på drivande axel och till högst 10 ton för övriga axlar.
- Två axlar med ett inbördes avstånd som är mindre än 2 meter kallas boggi. Boggilasten får normalt vara 18 ton och under de mest gynnsamma förhållandena uppgå till högst 20 ton.
- Tre axlar med ett avstånd mellan den första och den tredje axeln som är mindre än 5 meter kallas trippelaxel. Trippelaxellasten får högst vara 24 ton.
- Det minsta axelavståndet mellan en lastbils sista axel och släpvagnens första axel är för BK1-väg 3, 4 eller 5 meter, beroende på hur många axlar som finns längst bak på lastbilen och längst fram på släpvagnen.
- För fordon i fordonståg finns lista över bruttoviktbegränsningar. Exempelvis får en lastbil med två axlar ha en bruttovikt på högst 18 ton.
- Bruttoviktstabeln för helt lastbilskeppage beror i första hand på avståndet mellan första och sista axel. I Trafikförordningen anges tillåten bruttovikt som funktion av nämnda avstånd. Bruttoviktstabellerna för BK1, BK2 samt BK3 visas grafiskt i Figur 34. Den högsta tillåtna bruttovikten var 60 ton fram till 1 juni 2015. Axelavståndet mellan första och sista axel i fordonståget ska då vara minst 18 meter. Fr.o.m. 1 juni 2015 tillåts 64 ton, förutsatt bl.a. minst 20,2 m avstånd från första till sista axel. I Figur 34 visas även bruttoviktsskurva för den föreslagna nya bärighetsklassen BK4 (74 ton).



Figur 34 Bruttoviktsskurvor, inkl. föreslagen kurva för nya BK4 vägnätet.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

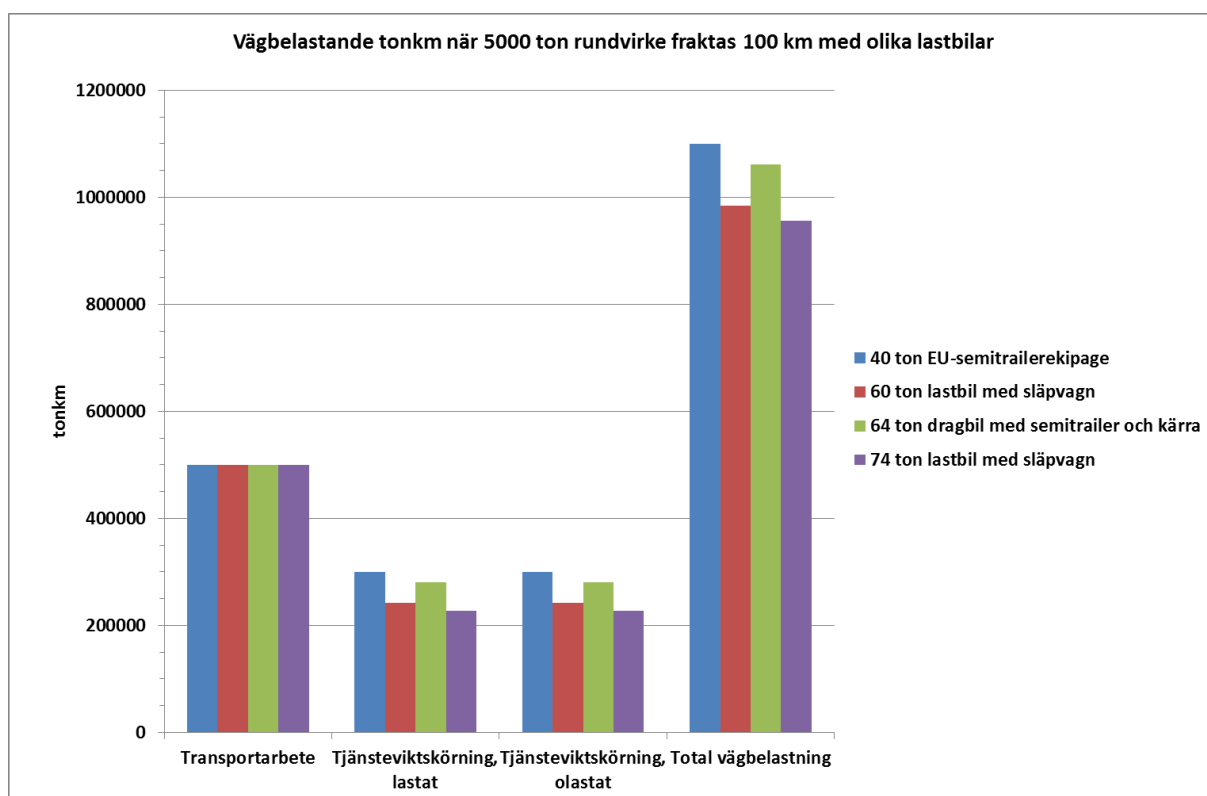
14. MINIMERING AV VÄGSLITAGET

Kör med många hjulaxlar och hög kvot nyttolast/tjänstevikt

Vägslitaget minimeras genom tungt gods fraktas på lastbilar som har hög kvot nyttolast/tjänstevikt, men med många hjulaxlar.

För att frakta en viss mängd gods en viss sträcklängd med olika lastbilstyper, belastas vägen av olika mängd vägslitande trafikarbete där fordonen har olika stor tjänstevikt. Vägen slits av en tonkm förebyggbar tjänsteviktskörning ("tomkörning"), likväl som av en tonkm effektivt transportarbete.


För att lösa en given transportuppgift, till exempel frakta 5000 ton rundvirke 100 km, orsakas störst antal vägslitande tonkm tjänsteviktskörning av det 40 ton "lätta" EU-trailerekipaget, se Figur 35. EU-trailerekipaget ger 15 % fler vägslitande tonkm än det 74 ton tunga ekipaget. Ett nytt 64-tons ekipage av typ dragbil med semitrailer och kärria visas orsaka 11 % fler tonkm, än vad 74-tons ekipage kommer göra. Nämnade tal är beräknade enligt *Bilaga 2 Beräkning av vägbelastande tonkm*.



Figur 35 Tjänsteviktskörning ger skillnad i vägbelastande tonkm

Utöver transportarbete i enheten [tonkm] skiljer sig vägslitaget även utifrån ekipagens olika antal standardaxlar per ton nyttolast. Enligt beräkningar i tidigare avsnitt ger 74-tons ekipage betydligt färre antal standardaxlar per ton nyttolast, än lastbilarna med färre antal axlar. Sammantaget innebär alltså transporter med 74 tons ekipage betydligt lägre vägslitage än transporter med mindre ekipage.

För de fyra typer av ekipage som jämförts, uppstår i särklass mest vägslitage då transportarbetet genomförs med ineffektiva 40 ton EU-semitrailerekipage. Dessa har lägst förhållande mellan nyttolast

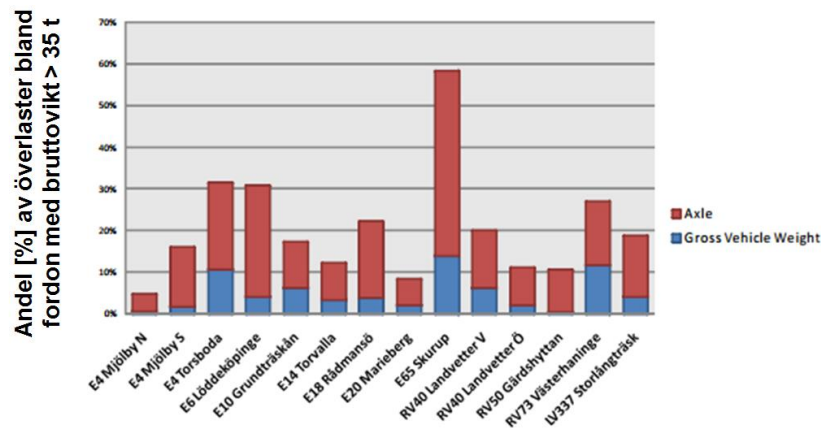
Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

och tjänstevikt, högsta antal vägslitande standardaxlar per ton nyttolast, samt orsakar i särklass flest tonkm vägslitande tjänsteviktsskörning.

Förebygg överlast på EU-semitrailers

Olaglig överlast sliter hårt på en väg. Djärf et al (1989) visade att 20 % överlast på däck medför att dess belastningsverkan fördubblas. Detta gäller både enkelmonterade breddäck och parmonterade däck.

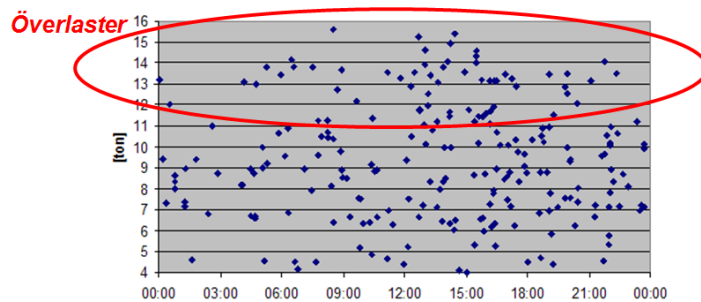
Trafikverkets vägningar av tunga lastbilar har visat att överlast på enstaka hjulaxel är ett vanligt överlastproblem, se överlastfördelningen i Figur 36.



Resultat från vägning av tunga lastbilar, "Weigh In Motion" (WIM), på 14 svenska broar. Källa: Trafikverket, HVT11


Figur 36 Överlast på enskilda axlar är ett utbrett problem

Vägningarna har också visat att tvåaxlad dragbil med EU-semitrailer (nr 4 i Tabell 4) är en fordonskombination som särskilt ofta har överlast på drivaxeln. Mätresultat för axel nr 2, drivaxeln, visas i Figur 37.

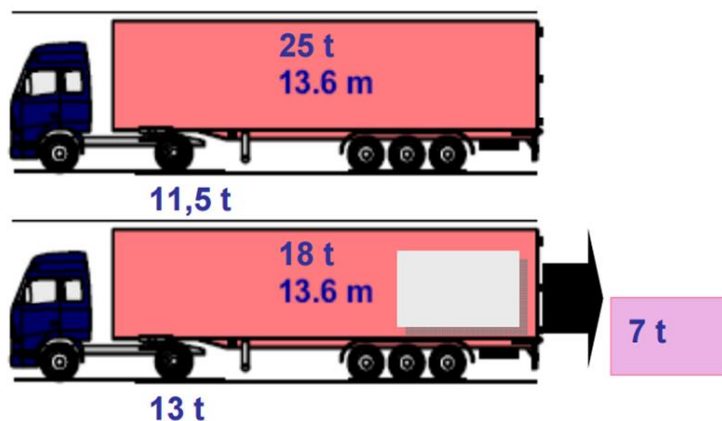


Ett dygns Weigh-In-Motion data för 5-axlade semitrailerekipage på E4 vid Mjölby. Källa: Trafikverket.


Figur 37 Tvåaxlade dragbilar med EU-semitrailers har ofta överlastad drivaxel

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Det är lätt att i oförstånd orsaka överlast på tvåaxlad dragbil med EU-semitrailer. När gods lossas från bakre delen av ett lagligt lastat ekipage av denna typ, se Figur 38, tippas trailern framåt så att dess tyngdpunkt flyttas fram och vikten på dragbilens drivaxel ökar. Resultatet är axelöverlast som är olaglig och som ger kraftigt ökat vägslitage. Lösningen är att byta till boggiaxlad dragbil (fordonskombination nr 5), eller att lasta om gods från främre delen av semitrailern till dess bakre del.



Figur 38 När nyttolast lossas, kan vikten på drivaxeln öka

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

15. ÖKNING TILL 74 TON KAN MINSKA VÄGSLITAGET


Vägslitaget minskar, medan broslitaget ökar

Höjning till max 74-tons bruttovikt innebär att mindre trafikarbete krävs för att lösa given transportuppgift. Detta innebär att vägslitaget minskar, förutsatt att lasten per axel och axelgrupp inte ökas.

Det är viktigt att lastbilarnas däckkonfiguration inte ändras så att andelen enkelmonterade breddäck blir avsevärt vanligare på krent byggda vägar. Det finns en allmän sådan trend, oavsett bruttovikt och framförallt inom andra sektorer än rundvirkestransporter. Ett exempel där enkelmonterade breddäck blivit allt vanligare, är flistransporter.

74 tons fordon medför lägre medelaxellast än dagens 64 tons fordon. Med samma däckkonfiguration per axel förväntas därmed 74 ton att minska vägslitaget, både på välbyggda vägar och på underdimensionerade vägar.

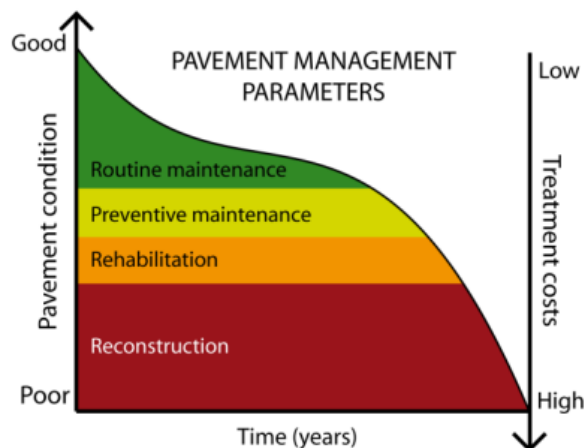
Höjning till max 74-tons bruttovikt förutsätter ökad utnyttjandegrad för broar. Det medför snabbare nedbrytning av broarna och leder till ökat behov av att byta ut broar i förtid. Detta gäller speciellt broar som byggts före mitten av 1970-talet. Genom att följa transportbranschens förslag och öka fordonslängden till 34 m, ökas även axelavstånden betydligt. Detta kommer att minska påkänningarna på brobeståndet.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

16. DÅLIG TAJMING ÖKAR KOSTNADERNA

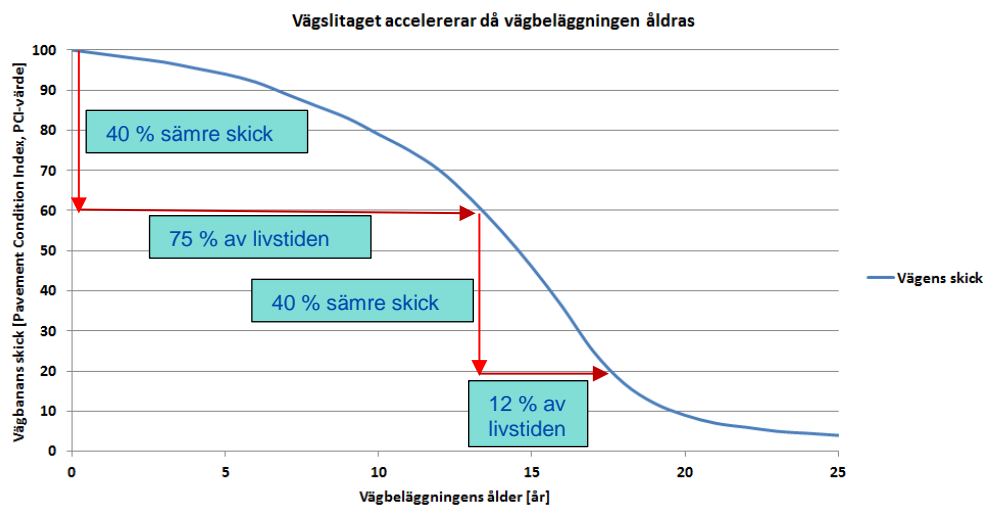
Sena åtgärder ger flerfaldigt högre kostnad för vägunderhåll

Ett internationellt allmänt vedertaget koncept för effektiv vägförvaltning bygger på det s.k. Pavement Condition Index (PCI; ett mått på vägytans skick), se Figur 39. OBS! Höger värdeaxel, avseende åtgärds kostnad ("Treatment costs"), är olinjär. Rekonstruktion är mångfaldigt dyrare än rutinunderhåll.




Figur 39 Det internationella vägförvaltningskonceptet PCI. Bildkälla: ROADDEX

En nybyggd väg förväntas vara i utmärkt skick och ha PCI 100. Är vägen rätt dimensionerad, då slits den ned relativt sakta de första 5 åren, varefter vägslitaget gradvis accelererar. Efter ca 12 år är skicket på gränsen mellan utmärkt och bra; denna gräns motsvarar PCI-värde ca 70, se exemplet i Figur 40. Vid PCI 70 räcker relativt billigt rutinunderhåll för att återställa vägen till nyskick (PCI-värde 100).



Figur 40 Kostnaden accelererar vid sent utfört vägunderhåll

Förutom högtrafikerade vägar, är det vanligt att vägbanans skick tillåts försämrats ända ned mot PCI 50. Vid PCI i intervallet 50 till 70 krävs mer omfattande och därför ungefär dubbelt så dyra åtgärder för

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

att återställa vägbanan till nyskick PCI 100, jämfört med att återställa en väg från skick PCI 70 eller bättre.

På kostnadseffektivt skötta vägnät sker underhållsbeläggning senast när vägens skick fallit till PCI runt 60, det vill säga då vägbanans skick har försämrats med 40 %. Detta inträffar ungefär då vägbeläggningen har uppnått 75 % av maximal livslängd, sett till den tidpunkt då vägen blir klassad som otjänlig av trafikanterna.


Om vägens skick tillåts falla under PCI 50 krävs regelmässigt rekonstruktion, vilket kostar tiofaldigt mer än de åtgärder som räcker för att återställa vägen från PCI 70 till PCI 100.

Vid ca 14 års ålder har takten på vägslitage accelererat så mycket, att det fortsatta förfallet från PCI 60 till PCI 20 sker på ca 3 år. Detta innebär att vägens skick försämrats 40 % på bara 12 % av vägens maximalt tjänliga livslängd. Lika mycket försämrat skick, 40 %, tog fem gånger längre tid i intervallet från PCI 100 till PCI 60.

En strategi som innebär för sent utförd vägunderhåll innebär alltså dels mångfaldigt snabbare vägslitage, dels flerfaldigt dyrare underhållsåtgärder, för exakt samma trafikbelastning.

En relevant fråga är *"-Vem ska betala förebyggbara merkostnader orsakade av dålig tajming från väghållaren?"*.

Ett närbesläktat problem är att en stor andel av vägunderhållet faktiskt sker innan åtgärd är befogad. Detta beror på att vägnätets skick är mycket inhomogent, samt att vägunderhåll utförs utan detaljerad projektering. Ett exempel: En sträcka av 100 m inleds med 43 m spårig asfalt, följt av 36 m osliten asfalt och slutligen 21 m ojämn och sprucken asfalt. Väghållaren lägger 100 m ny asfalt, trots att bara 64 % av väglängden var sliten. En relevant fråga är *"-Vem ska betala för att 36 % av vägunderhållet utförs på osliten vägbanan?"*. (Talet 36 % är ett illustrerande exempel, det gäller inte vägunderhåll i allmänhet).

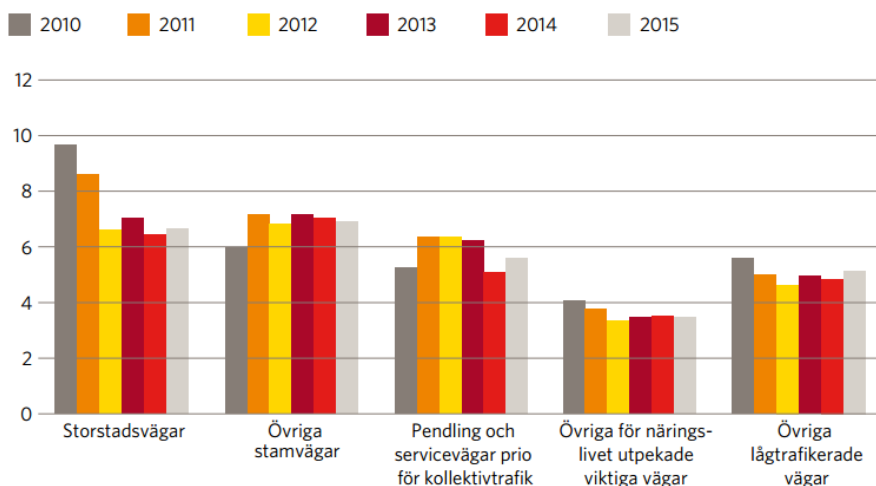
Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

17. DAGENS VÄGSLITAGE

Storstadsvägar i allt bättre skick


Trafikverket utför regelbundet omfattande mätning av vägytans tillstånd. Dataserier från noggrant jämförbara mätningar finns sedan 1987. Mätresultaten, uttryckt som ojämnheter, spårdjup och kantdjup relateras till Trafikverkets underhållsstandard som fastställdes år 2011. Underhållsstandarden är baserad på samhällsekonomiska bedömningar och anger vid vilket tillstånd underhållsåtgärder bör sättas in. På vägar med högre hastighet och trafikmängd ställs hårdare krav. Gränsvärden avser vägytan, men orsaken till ett visst tillstånd kan ligga längre ner i vägkonstruktionen. Åtgärder avsedda att förbättra tillståndet måste därför i många fall vara inriktade på både vägyta och underliggande vägkonstruktion. Underhållsstandarden ger låg samhällsekonomisk kostnad för vägnätet i helhet och för vägnarnas hela livstidscykel, men trafikanter kan vara missnöjda med slitna vägar vars skick fortfarande uppfyller standardens krav. Vägen blir naturligtvis sämre med tiden och till slut förbättras skicket då ny beläggning läggs ut. Under 2014 fick ca 5 % av det statliga vägnätet ny beläggning, vilket innebär att vägbeläggningarna i dagsläget förnyas i medeltal vart 20:e år.

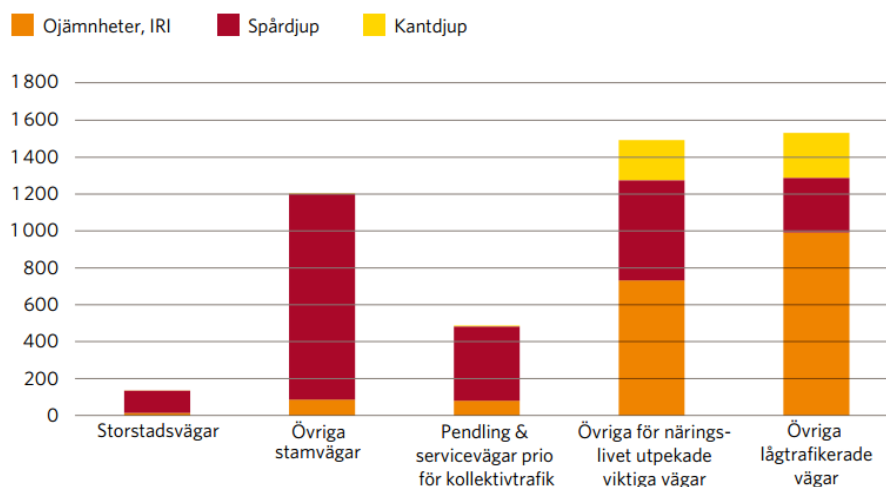
I dag är skicket på vägnätet sådant att ca 4 - 8 % av vägarna inte uppfyller underhållsstandarden (exakt andel varierar mellan olika vägtyper). I perspektiv av att 4.7 % av vägarna får ny underhållsbeläggning varje år, innebär detta att underhållsskulden uppgår till mellan ett och två års underhållsbudget. Trenden under de senaste åren är att medelvärden för skicket på vägarna i storstadsområdena har förbättrats, att övriga stamvägar har försämrats, samt att pendlingsvägar, viktiga näringslivsvägar samt övriga lågtrafikerade vägar inte har förändrats mycket, se diagram i Figur 41.



Figur 41 Andel vägar [%] som avviker från underhållsstandard, fördelat på vägtyp.
Källa: Trafikverkets årsrapport 2015.

För vägtyper med hög trafikvolym dominerar spårdjup orsakade av dubbdäck som skäl till vägunderhållsåtgärd, se diagram i Figur 42. För vägtyper med lägre trafik är gupp och liknande ojämnheter i vägens längdled dominerande orsak till vägunderhållsåtgärd. På lågtrafikerade vägar, där vägkroppen i många fall är underdimensionerad, dyker deformerad vägkant (stort "kantdjup") upp som vanlig orsak till vägunderhållsåtgärd.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	



Figur 42 Längd vägsträckor [km] som år 2015 avvek från underhållsstandard för skadetyper ojämnheter (IRI), spår djup respektive kantdjup, fördelat på vägtyp. Källa: Trafikverkets årsrapport 2015


Data visar att i Sverige sliter 16 personbilar mer än 1 lastbil

I regeringsuppdraget SAMKOST har VTI studerat vägslitage från trafiken. I projektet har forskarna beräknat nedbrytningselasticiteten för olika fordon, baserat på bl.a. trafikdata, vägkonstruktionsdata och resultat från lasermätningar av de statliga vägarnas skick, samt förändringar av trafik respektive vägarnas skick genom årens lopp.

För tunga fordon konstaterade forskarna att värdet på nedbrytningselasticiteten är -0.09. Detta betyder att om den tunga trafiken ökar med tio procent, kommer livslängden för vägarnas slitlager att minska med 0.9 procent. För en väg som skulle haft livslängd 17 år, ger 10 % mer tung trafik ny livslängd 16 år och 10 månader.

Även för personbilar konstaterades att nedbrytningselasticiteten är statistiskt signifikant. Dess värde befanns vara -0.10, vilket därmed är 10 % större än för tunga fordon (-0.09). Nedbrytningselasticitet -0.10 betyder att om personbilstrafiken ökar med tio procent, kommer livslängden för vägarnas slitlager att minska med 1 procent. I en jämförelse mellan Trafikverkets olika regioner syns att livslängdselasticiteten är störst i de mellersta delarna av landet. VTI:s tolkning är att dubbdäcken i Norrland sliter mindre, till följd av att många vägar där under en längre del av vintern är snö- och isbelagda. Det lägre vägslitage i landets sydliga delar kan helt enkelt bero på att där har lägre andel av bilarna dubbade vinterdäck.

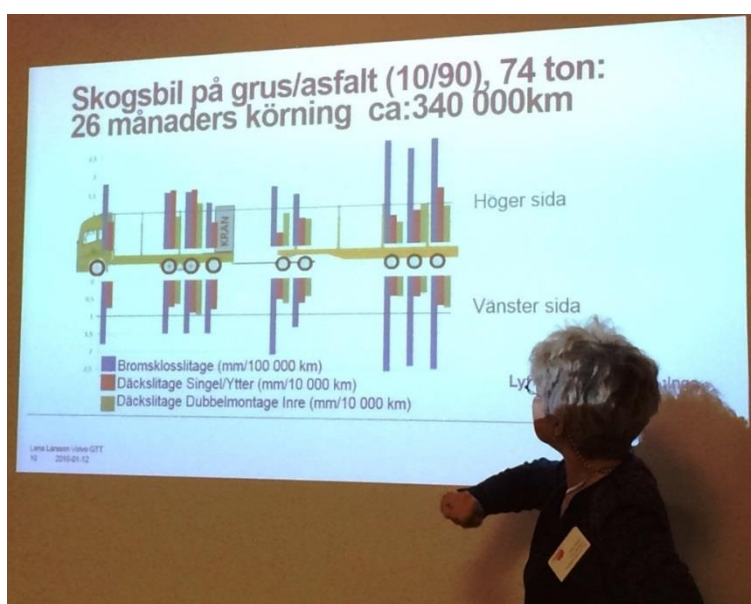
Att 10 % ökning av personbilstrafiken ger mer vägslitage än 10 % ökning av den tunga lastbilstrafiken ska inte tolkas som att en personbil sliter mer än en riktigt tung lastbil. Personbilarna står nämligen för hela 81 % av trafikarbetet i Sverige, medan tunga lastbilar >16 ton står för bara 5 %. Det skiljer alltså ca 16 gånger mellan fordonstypernas trafikarbete. Sammantaget kan man säga att i Sverige sliter 16 personbilar tillsammans lite mer på vägbanan, än vad en tung lastbil gör.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

18. BEHOV AV FORTSATT FORSKNING


Det nationella projektet för High Capacity Transports med 74 - 90 tons lastbilar rekommenderar nu att mer i detalj undersöka inverkan av däckkonfigurationen på:

- Manövrerbarhet vid filbyte/undanmanöver.
- Vältstabilitet.
- Nyttolastkapacitet.
- Energiförbrukning.
- Emissioner.
- Slitage på däck och bromsar, se Figur 43.



Figur 43 Volvos expert Lena Larsson redovisar uppföljning av däckslitage på 74 ton ekipage

ROADEX förstudie bör följas upp av en huvudstudie som undersöker lämpliga strategier för godstransporter på klena byggda vägar under tjällossningsperioden. En strategi kan vara att använda TPCS, system för reglering under körning av däckens lufttryck, för att helt eller delvis kompensera för det ökade vägslitage från enkelmonterade breddäck.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

19. SLUTSATS

Förslagen på vägslitagekostnads för tunga lastbilar ligger kring 1.4 kr/km (14 kr/mil), vilket antas ge omkring 4 Mdr/år i skatteintäkt. Denna utredning konstaterar att 4 Mdr/år överstiger kostnaden för vägslitage från tunga lastbilar som uppgår till i storleksordning 0.9 Mdr/år. Därmed är det fråga om en finansiell beskattning, snarare än en vägslitageavgift.

Åtta mekanismer dominerar nedbrytningen av svenska vägar. Endast två av dessa beror av trafiklast. Dåligt planerat och/eller dåligt genomfört byggande och periodiskt underhåll av vägen är exempel vanligt förekommande orsaker till onormalt förkortad väglivslängd. Ett mycket vanligt fel är att asfalt läggs utan att spårigt och ojämnt underlag har planfrästs eller förjusterats; resultatet är dålig packning och därmed höga hålrumsalter (hög porositet i asfalten), vilket leder till dramatisk förkortad livslängd. Ett vanligt byggfel på svenska landsvägar är att endast den grövsta fraktionen 11-16 mm är av specialsten från hårda bergarter, medan finballasten är av ortens mjukare sten. Den mjuka finballasten spräcks snabbt av bildäckens dubbar. Detta medför att vägytan i hjulspåren snabbt blir mycket skrovlig, varigenom trafikbullret, rullmotståndet samt mängden luftburna partiklar ökar. Många vägars livstid förkortas även av faktorer som halkbekämpning med vägsalt, dålig geometrisk vägutformning, dålig dränering samt dynamiska lasttillskott som uppstår på ojämna vägar när lastbilar skumpar fram istället för att rulla fram. Ett gigantiskt provvägsförsök i USA visade att väggroppens bärighet kan sägas "må sämre av att inte trafikeras", än av att faktiskt användas av tunga fordon.

Utredningen konstaterar att av motorvägars belagda bredd på 21.5 m, trafikerar tunga lastbilar i princip endast de båda 3.5 m breda ordinarie körfälten. Detta innebär att lastbilen trafikerar en tredjedel av motorvägens bredd.


Underhållskostnaden för motorvägar ska rimligtvis i hög grad belasta personbilisterna, eftersom vägens bredd, antal körfält med mera, är utformade för personbilstrafik. Standarden för högtrafikerade vägar är satt för att möta höga krav på hastighet för personbilstrafik i upp till 120 km/tim (tung lastbil med tungt släp för hursomhelst inte köra fortare än 80 km/tim), vilket leder till korta livslängder och därmed frekvent belägningsunderhåll. På motorväg utgörs den vanligaste orsaken till underhållsåtgärd av nötningsspår från personbilarnas dubbdäck. Gränsvärdet för största acceptabla spår djup är satt med hänsyn till personbilstrafikens behov, inte med hänsyn till lastbilstrafikens tolerans. Dessa omständigheter talar för det rättfärdiga i att personbilisterna betalar den största andelen av vägslitage.

Normalt vägslitage från tunga fordon kan sägas omfatta tre huvudtyper av vägskador, vilka samtliga är avgränsade i sidoläge till hjulspåren; deformationsspår, utmattningsprickor samt ojämnheter i längdled. Många vägskador är emellertid kombinationer med skador från byggfus, klimat och andra faktorer.

Den faktor som är mest avgörande för lastbilars vägslitage är kontaktrycket under däcken. Detta avgörs av axellasten samt av däckkonfigurationen. Hög bruttovikt är främst ett problem för broar. Årligen sker ett stort antal transporter med dispens för extremt hög bruttovikt på allmänna vägar. Gemensamt är att lastens vikt fördelas på ett mycket stort antal hjul, så att kontaktrycket mot vägbanan inte är högre än vid vanliga lastbilstransporter. Trafikverket har låtit laserskanna vägbanan före och efter extrema dispenstransporter. Det har inte konstaterats onormalt vägslitage till följd av bruttovikter på upp till 600 ton på normalt välbyggda vägar.

Den så kallade fjärdepotensregeln används för att särskilja slitagekostnad mellan olika typer av tunga fordon. Regeln är baserad på mycket omfattande provvägsförsök som genomfördes av organisationen AASHO i USA i slutet av 1950-talet. Axellasten 10 ton används i bl.a. Sverige som referens och kallas "standardaxel". Lasten på varje axel divideras med 10 och höjs sedan upp till 4 (fjärde potensen). Resultatet från denna beräkning summeras sedan över samtliga axlar. Summan utgör fordonets standardaxel-antal och summan visar hur många tiotonsaxlar det tunga fordonet motsvarar, vägslitagemässigt. Sedan 1989 anses det genomsnittligt tunga ekipaget i Sverige ha 1.3 standardaxlar, d.v.s. fordonet anses orsaka vägnedbrytning och slitagekostnad motsvarande 1.3 tiotonsaxlar.

Fjärdepotensregeln är endast en tumregel, då potenstalet kan avvika mycket från 4 beroende på vägkonstruktion, undergrund och vilken typ av vägskada som avses. VTI (2014) fann vid fullskaletest

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

de tre alternativa potenstalen 0.23 och 1.76 samt 3.67. Professor David Cebon vid University of Cambridge har funnit liknande (brist på) potenssamband för väldimensionerade och välbyggda vägar, så som i dagens motorvägssystem: *“The validity of the ‘fourth power law’ is questionable, particularly for current axle loads and axle group configurations; tyre sizes and pressures; road construction; and traffic volumes: all of which are significantly different from the conditions of the AASHO road test”*. Cebon pekar på potenser i intervallet 1.3 - 6. Den lägre delen av intervallet innebär att fjärdepotensregeln kan sakna relevans för exempelvis modernt dimensionerade och välbyggda vägar. OECD:s Divine-projekt kom fram till likartad slutsats; *“The use of the ‘fourth power law’ may not be appropriate in all situations unless the environment, traffic, pavement type and pavement construction methods are the same as, or very similar to, those in the AASHO Road Test”*.

Potensen 4 bestämdes alltså i provvägsförsök på klena byggda vägar i USA i slutet av 1950-talet. Senare studier har pekat på potenser i intervallet 1 - 8, beroende på vägkonstruktion m.m. Vid kalibrering av fjärdepotensregeln mot nordiska förhållanden i det s.k. STINA-projektet på 1970-talet, konstaterades att potensen typiskt ligger i intervallet 3 - 5. I STINA konstaterades också att för vägar med liten överbyggnad grundlagda på lera och liknande lösjord saknas potenssamband fullständigt.

Fjärdepotensregeln är därmed en schablon för att jämföra tunga fordon med andra tunga fordon. Ibland används regeln felaktigt för att jämföra personbil och tunga fordon. Det är inget annat än en stor fadäs, där långt drivna slutsatser felaktigt dragits genom att extrapolera resultat långt utanför det område där formeln är relevant. Exempelvis beaktar fjärdepotensregeln inte nötnings slitage från dubbade personbilsdäck, vilket är den dominerande orsaken till asfaltunderhåll på det svenska motorvägsnätet. Mätdata från svenska vägnätet visar att 16 personbilar sliter tillsammans lite mer på vägbanan än vad en tung lastbil gör. Huvudorsaken till detta är personbilstrafikens andel av dubbade vinterdäck.


Enkelmonterade breddäck ger stora fördelar i synnerhet på semitrailers i fjärrtransport. Till fördelarna hör upp till 5 % lägre rullmotstånd, lägre däckkostnad, lägre drivmedelsförbrukning och lägre emissioner av CO₂ och NO_x än med parmonterade däck. Lastbilschaufför är Sveriges farligaste yrke. Enligt Arbetsmiljöverket är en av de vanligaste omständigheterna vid lastbilsförarens dödsolyckor, att föraren tappat kontroll över fordonet. Därför har säkerhet mycket hög prioritet vid val av däckkonfiguration. Över hälften av krascher där lastbilsförare dött, utgörs av vältolyckor. Enkelmonterade breddäck gör det möjligt att bygga fordon med lägre tyngdpunkt och med bredare effektiv spårvidd, vilket ger minskad vältrisk. Enkelmonterade breddäck ger också lägre ofjädrad massa. Detta gör det möjligt att bygga fordon med 25 % mjukare dämpning, vilket skonar förare, fordon och väggropp från skadlig färdvibration. Lägre tjänstevikt tack vare breddäck ger också ökad lastkapacitet, vilket bidrar till att färre lastbilar behövs trängas på vägarna.

Enkelmonterade breddäck slog igenom på 1980-talet, sedan max bruttovikt för EU-semitrailerekipage höjts från 38 till 40 ton. Breddäck används främst på semitrailers, där två st 10-ton saxlar med parmonterade däck ersatts med tre st 8-ton saxlar med enkelmonterade breddäck.

Ett vanligt men allvarligt fel i vägtekniska analyser, är att vägpkänning vid 10 ton axellast (50 kN hjullast) på parmonterade däck jämförs med samma axellast på enkelmonterade 385 mm breddäck. Breddäck sitter regelmässigt på 8-ton saxlar eller 9-ton saxlar och därmed bär 1 - 2 ton lägre axellast än vad de vägtekniska beräkningarna felaktigt utgår från. Breddäck i bredderna 315 och 385 mm (385 är standard breddäck) är inte godkända¹⁹ att bära så hög hjullast som 5 ton eller 50 kN. Först vid den ovanligare bredden 425 mm i kombination med mycket högt lufttryck är enkelmonterat breddäck godkända för 5 ton hjullast, utan att ha dyr specialförstärkning av typ Michelin InfiniCoil eller likvärdigt. Därmed saknas relevans hos många studier av skillnad i vägs slitage mellan olika däckkonfigurationer.

EU-projektet COST 334 pekar på att dubbelmonterade däck ger ökat vägs slitage vid körning på vägar som redan är spåriga och ojämnt deformerade (i synnerhet vid olika lufttryck i inre respektive yttre

¹⁹ Det finns undantag. Continental/Semperit ett speciellt 385-däck för *styraxeln*, som med belastningsindex 164 är godkänt för 50 kN vid 9.0 Bar lufttryck. Michelins förstärkta däck X Multiway HD XZE är godkänt för 50 kN vid 385 mm bredd, men kostar ca 30 % extra och är därför ett relativt ovanligt däck ute på vägnätet.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

däck). Detta är också förbisett i många vägtekniska analyser av skillnad mellan däckkonfigurationer, vilket gör att deras slutsatser är giltiga bara för en bråkdel av det svenska vägnätet.

Sveriges traditionella 60-tonsekipage med 7 axlar har medelaxellast på 8.6 ton/axel. Vissa av dessa får sedan 1 juni 2015 köra 64 ton, vilket ger 9.1 ton/axel. Detta är avsevärt högre än för 60-tonsekipagen och medför högre vägslitage per körning. Räknat per ton nyttolast påverkas inte vägslitage så mycket, eftersom hela viktökningen från 60 till 64 ton utgjorts av nyttolast utan att tjänstevikten ökat. Med en extra axel ger 64 ton en medelaxellast på 8.0 ton/axel, men detta till priset av lägre nyttolast. När 74 ton bruttolast tillåts, väntas de flesta ekipage ha endera 9 axlar eller 11 axlar. Med 9 axlar får fullastade 74-tonnare en medelaxellast på 8.2 ton/axel. Fordonskombinationen 74 ton på 11 axlar ger 6.7 ton/axel. Denna översiktliga beräkning indikerar alltså att en kommande 74-tonnsreform medför att vägslitage minskar, jämfört med transporter med traditionella svenska 60-tonsekipage.

För att effektivt tillgodose näringslivets behov av tunga transporter, under beaktande av det totala vägslitage från alla lastbilskörningar tillsammans, är det viktigt att fordonens vägslitage per ton nyttolast är lågt. En annan samhällsaspekt är att minimera antalet lastbilar på vägnätet. Det betyder att lastbilar med låg nyttolast-kapacitet (ger ökad tjänsteviktsskörning) ska undvikas för längre transporter.

I denna utredning har vägslitage beräknats med den version av fjärdepotensregeln som etablerats av danska Vejdirektoratet, vilken gör det möjligt att analysera inverkan från axel- och däckkonfigurationer.

Resultat från detaljerade beräkningar för 11 fordonskombinationer visar att vägslitage kan mer än halveras, genom att på fjärrtransporter ersätta EU-semitrailer bakom tvåaxlad dragbil (totalvikt 40 ton) med modulekipage som fraktar avsevärt mer gods (totalvikt 60 - 74 ton). Modulekipagen utsätter samtidigt vägbanan för lägre kontaktryck, tack vare fler axlar och däck i förhållande till lasten.


Resultaten visar att jämfört med parmonterade däck, ger enkelmonterade breddäck från 13 % till 57 % högre vägslitage per ton nyttolast på normalt välbyggda vägar. Observera att detta gäller enbart medan vägbanan är jämn. Orsaken är att på ojämn väg kan parmonterade däck tvärtom slita mer än enkelmonterade breddäck, enligt COST 334. Parmonterade däck ger ännu högre vägslitage när de har olika lufftryck (20 % skillnad är inte ovanligt, enligt en studie vid Chalmers), liksom i de fall där ytterdäcket är blankslitet (detta är fullt lagligt, se [TSFS 2009:19 Däck](#), 4§) så att dess diameter är avsevärt mindre än hos innerdäcket med dess minst 5 mm mönsterdjup.

För fordon med över 10 ton nyttolast, fås allra lägst vägslitage per ton nyttolast med 74-ton ekipage på välbyggda vägar. Fordonskombinationerna med 60 respektive 64 ton totalvikt sliter lika mycket eller mer på vägarna (räknat per ton nyttolast), som 74 ton ekipagen. I vägslitagesynvinkel är semitrailerekipage med boggiaxlad dragbil, trots 4 ton högre totalvikt, helt överlägset tvåaxlad dragbil.

Särskilt för fordonskombinationen EU-semitrailer bakom tvåaxlad dragbil är det lätt att oavsiktligt skapa överlast på drivaxeln, trots att ekipaget som helhet inte har bruttovikt-överlast. Frekvensen av överlast på axel är därför exceptionellt hög för denna typ av fordonskombination.

Resultaten visar också att vägslitage ökar kraftigt på vägar med underdimensionerad överbyggnad (upp emot 50 % högre vägslitage), jämfört med rejält dimensionerad väg. Detta visar stor potential att minska vägslitage, genom att förstärka tungt trafikerade sträckor där väggroppen är klent byggd.

Utredningen kom fram till en referenskostnad för tunga lastbils vägslitage på 0.11 kr/ESAL₁₀*km. Tillsammans med fordonskombinationernas vägslitage beräknades ekipagens vägslitagekostnad. Ett typiskt tungt fordon med vägslitageeffekt på 1.3 tiotons standardaxlar (ESAL₁₀), vållar vägslitage till en kostnad på ca 1.3 * 0.11 = 0.143 kr/km eller 1.43 kr/mil. Lastbilstypen är den faktor som påverkar vägunderhållskostnaden mest. Kostnaden varierar nära tiofaldigt, från 0.53 till 3.78 kr/ton*100km, för olika ekipage. I särklass högst vägslitagekostnad orsakas av tungt lastad 18 tons tvåaxlig lastbil samt 40 tons EU-semitrailer med tvåaxlig dragbil. Alla studerade fordonstyper med bruttovikt över 44 ton visades ge måttlig vägslitagekostnad per ton*100km. Av fordonen med mer än 3.5 ton lastkapacitet ges allra lägst vägslitagekostnad av ett 74 tons ekipage.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	


På kostnadseffektivt skötta vägnät, underhålls vägbeläggningen senast när vägens skick fallit från nyskick (Pavement Condition Index, PCI lika med 100) till motsvarande PCI 60, det vill säga då vägbanans skick har försämrats med 40 %. Detta inträffar ungefär då vägbeläggningen har uppnått 75 % av maximal livslängd, sett till den tidpunkt då vägen blir klassad som otjänlig av trafikanterna. Vid ca 14 års ålder har takten på vägslitaget accelererat så mycket, att det fortsatta förfallet från PCI 60 till PCI 20 sker på bara ca 3 år. Detta innebär att vägens skick försämrats 40 % på bara 12 % av vägens maximalt tjänliga livslängd. Lika mycket försämrats skick, 40 %, tog fem gånger längre tid i intervallet från PCI 100 till PCI 60. En strategi som innebär för sent utförd vägunderhåll innebär alltså dels mångfaldigt snabbare vägsitage, dels flerfaldigt dyrare underhållsåtgärder, för exakt samma trafikbelastning. En relevant fråga är ”-Vem ska betala förebyggbara merkostnader orsakade av dålig tajming från väghållaren?”. Ett närbesläktat problem är att en stor andel av vägunderhållet faktiskt sker innan åtgärd är befogad. Detta beror på att vägnätets skick är mycket inhomogent, samt att vägunderhåll utförs utan detaljerad projektering. Ett exempel: En sträcka av 100 m inleds med 43 m spårig asfalt, följt av 36 m osliten asfalt och slutligen 21 m ojämn och sprucken asfalt. Väghållaren lägger 100 m ny asfalt, trots att bara 64 % av väglängden var sliten. En relevant fråga är ”-Vem ska betala för att 36 % av vägunderhållet utförs på osliten vägbana?”. (Talet 36 % är ett exempel, det gäller inte vägunderhåll allmänt).

ROADEX rapporterade år 2014 en förstudie om axel- och däckskonfigurationers betydelse för underhållsintervallet på lågtrafikerade vägar. Förstudien fokuserade på vägar med mycket tunt bundet slitlager, så som 1.5 cm ytbehandling eller 4 cm oljegrus. Förstudien beaktade en rad faktorer, så som vägens försvagning under tjällossning, mjuka undergrundsjordar och däckens lufttryck. ROADEX rekommendationer för god hållbarhet hos lågtrafikerade klent byggda vägar är att förbättra vägkroppens dränering, förstärka vägkroppen, reparera vägojämnheter som ger dynamiska tillskottsbelastningar, uppmuntra användning av parmonterade däck vid körning på underdimensionerade vägar, samt förhindra överdrivet höga däcktryck.

I regeringsuppdraget SAMKOST studerade VTI vägsitage från trafiken. I projektet har forskarna beräknat nedbrytningselasticiteten för olika fordon, baserat på trafikdata och resultat från lasermätningar av de statliga vägarnas skick, samt förändringar av trafik respektive vägarnas skick genom årens lopp. För tunga fordon konstaterade forskarna att värdet på nedbrytningselasticiteten är -0.09. Detta betyder att om den tunga trafiken ökar med tio procent, kommer livslängden för vägarnas slitlager att minska med 0,9 procent. Även för personbilar konstaterades att nedbrytningselasticiteten är statistiskt signifikant. Dess värde befanns vara -0.10, vilket därmed är 10 % större än för tunga fordon (-0.09). Nedbrytningselasticitet -0.10 betyder att om personbilstrafiken ökar med tio procent, kommer livslängden för vägarnas slitlager att minska med 1 procent. Detta visar att vägslitaget på svenska landsvägar är känsligare för förändrad personbilstrafik, än för förändrad lastbilstrafik.

I dag är skicket på vägnätet sådant att ca 4 - 8 % av landsvägarna inte uppfyller Trafikverkets underhållsstandard (andelen varierar mellan olika vägtyper). I perspektiv av att 4.7 % av landsvägarna får ny underhållsbeläggning varje år, innebär detta att för närvarande uppgår underhållsskulden till mellan ett och två års underhållsbudget (om budgeten hade gett 100 % verkningsgrad; i verkligheten saknas därför ännu mer väganslag). Detta är till men för dagens trafikanter (inklusive yrkesförarna och deras arbetsmiljö), samt utgör en pantsättning av kommande generation svenskers ekonomi.

Den samhällsekonomiska vinsten av att använda enkelmonterade breddäck i stället för parmonterade däck undersöktes grundligt av TFK år 1989, för vägar byggda med 80 mm alternativt 150 mm asfalt. Lönsamheten med enkelmonterade breddäck konstaterades vara hög på vägar med 80 mm asfalt (medeltrafikerade vägar) och mycket hög på vägar med 150 mm asfalt (medel till högtrafikerade vägar). Belägningsregistret i Trafikverkets databas PMSv3 visar att det idag är mycket sällsynt med tunnare än 150 mm asfalt på svenska stamvägar. Åkarna värnar om sina fordon, förare och vägarna. Därför väljs regelmässigt optimal däckkonfiguration, utifrån känd kunskap. Lösningen är därför att öka relevant kunskap om vägsitage på underdimensionerade vägar, samt dokumentera och kommunicera sådan kunskap till de åkare som bedriver en hög andel av sin trafik på underdimensionerade vägnät. Detta snarare än att införa fler restriktioner på t.ex. val av däck, vilket sannolikt försämrar samhällsekonomin.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

20. ORDLISTA

Axelavstånd är avståndet mellan två axlar.

Axellast anger vikt på axeln. Ofta används det gamla och något missledande synonyma ordet **axeltryck** (enligt fysikens regler är tryck inte synonymt med vikt, då tryck motsvarar kraft per ytenhet).

Breddäck är enkelmonterade däck till tunga fordon (lastbil, buss samt släpvagn), med däckbredd minst 315 mm. Dessa singelmonterade breda däck kallas även **Super Single däck**. Observera att S.S. registrerades 1962 som Goodyears varumärke. En konkurrensneutral synonym är **widebase** däck. Observera att det förekommer att även 315-däck parmonteras.

Bruttovikt är den vikt ett fordon har vid det aktuella tillfället. Den varierar, beroende på hur mycket nyttolast fordonet fraktar.

Bärförmåga (vägbana), se **bärighet**.

Bärighet är ett vägtekniskt begrepp som anger "högsta last, enstaka eller ackumulerad, som kan accepteras med hänsyn till uppkomst av sprickor eller deformationer". Alternativa benämningar på vägbans bärighet är **bärförmåga** eller **hållfasthet** (mot enstaka extremlast såväl som mot utmattning från upprepade lägre belastningar).

Bärighetsklass är ett administrativt begrepp som anger hur tungt vägen lagligt får belastas. Det ska inte förväxlas med vägens **bärighet** (hållfasthet).

Hållfasthet (vägbana), se **bärighet**.

Parmonterade däck är synonymt till **tvillingdäck** och **pardäck**. En vanlig bredd på dessa smala däck är 265 mm.

Pavement Condition Index (PCI) är ett numeriskt index mellan 0 och 100, vilket anger det allmänna skicket hos en vägkonstruktion. PCI-värdet bestäms genom undersökning av utbredning och svårighet av olika typer av vägskador. PCI 100 representerar bästa möjliga skick och PCI 0 representerar sämsta möjliga skick. PCI är definierat av United States Army Corps of Engineers och är det mest använda måttet i världen för att mäta beläggningsskador på vägar, flygfält och parkeringsytor.

Standardaxel beräknas bl.a. i Sverige utifrån referensen 10 ton axellast. Lasten (i enhet ton) på varje axel divideras med 10 och höjs sedan upp till 4 (fjärde potens). Resultatet från denna beräkning summeras sedan över samtliga axlar. Summan utgör fordonets standardaxel-antal och visar hur många tiotonsaxlar det tunga fordonet motsvarar, vägslitagemässigt. Standardaxel-begreppet innebär att det finns ett linjärt samband mellan antalet standardaxlar och det vägslitage som fordonet anses orsaka.

Tjänstevikt anger vikten (massan) hos ett fordon inklusive förare, drivmedel och olja.


Tjänsteviktsskörning föreslås i denna skrift som term för antalet tonkm som utförs av tjänstevikt x transportavstånd. Ju lägre denna storhet är, desto mindre vägslitage orsakar transportupplägget för att lösa den givna transportuppgiften. En annan storhet av betydelse för vägslitage är antalet **standardaxlar** per ton nyttolast.

Totalvikt är summan av fordonets tjänstevikt och tyngsta lagliga nyttolast.

Trafikarbete betecknar den totala omfattningen av trafik inom ett visst område och under en viss tid. Det avser förflyttningar av fordon. Trafikarbetet anges i enheten fordonskilometer och utgör antalet fordon multiplicerat med den sträcka i kilometer varje fordon förflyttas. Trafikarbete förväxlas ofta med **transportarbete**.

Transportarbete betecknar den förflyttning av gods (eller passagerare) en transporttjänst utfört. Godstransportarbete mäts i tonkilometer - varje godsenhets massa i ton multiplicerat med transportsträckan i kilometer för varje gods enhet. Persontransportarbetet mäts i personkilometer - antal personer som färdas i till exempel ett fordon, multiplicerat med antalet resta kilometer för var och en. Transportarbete förväxlas ofta med **trafikarbete**.

Vägslitage används i denna skrift synonymt med "förkortad väglivslängd". Detta innebär att inte bara nötning, utan även vägskador som deformation, utmattning, åldring, stensläpp och sprickbildning inkluderas.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

21. REFERENSER

600 tons transport av Kraftdragarna Horndal – Hedesunda 2011-06-04.

Internet 2015-05-18: <https://www.youtube.com/watch?v=1wmyOVIokxo>

Almqvist, Y. (2011). *Nedbrytning av vägar: Jämförelse mellan axlar med singel respektive tvillingmontage*. Kungliga Tekniska Högskolan.

Internet 2016-05-06: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:453270/FULLTEXT01.pdf>

BWIM-mätningar 2002 och 2003 – Slutrapport. (2003). Vägverket.

Internet 2015-05-18:

http://www.durbit.se/Archives/ExternalPDF/MIP2003/Domain1/Deliverables/HTML%20Version/Slutrapport%20B-WIM%20VVPubl%202003-165.htm#_Toc67881955

Carlén, A. (2013). *Metod för att beräkna dynamiska hjullaster på vägbanan*. Lunds Tekniska Högskola.

Internet 2016-04-17: <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=3814806&fileId=3814819>

Costanzi, M. & Cebon, D. (2007). *An investigation of the effects of lorry suspension performance on road maintenance costs*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 221. pp. 1265-1277. ISSN 0954-4062.

Cebon, D. (1999). *Handbook of Vehicle-Road Interaction*. Swets & Zeilinger Publishers.

Dimensionering av väg. (1992). Luleå Tekniska Högskola.

Djärf, L., Huhtala, M. Johansson, M. & Samuelsson, E. (1989). *Optimalt däckval för tunga fordon*. Transportforskningskommissionen, TFK Rapport 1989-5.

Dynamic Interaction between Vehicle and Infrastructure Experiment, DIVINE. (1998). Technical Report, OECD. Internet 2016-03-30:

[http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DSTI/DOT/RTR/IR6\(98\)1/FINAL&docLanguage=En](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=DSTI/DOT/RTR/IR6(98)1/FINAL&docLanguage=En)

Effects of Wide Single Tyres and Dual Tyres. European Commission Directorate General Transport. COST 334. Internet 2016-01-15:

<http://www.comt.ca/english/programs/trucking/Pavements/European%20Commission%20COST%20334%20Study%20-%20Effects%20of%20Wide%20Single%20Tyres%20and%20Dual%20Tires%202001.pdf>

Granlund, J. (2014). *Luftburna partiklar från dubbdäckens slitage på asfaltytor*. Internet 2016-05-06:

<http://www.slideshare.net/JohanGranlund/luftburna-partiklar-frn-dubbdckens-slitage-p-asfaltytor-har-vghllarna-gjort-sin-hemlxa-r>

Höbeda, P. (2000). *Testing the Durability of Asphalt Mixes for Severe Winter Conditions*. Eurasphalt & Eurobitume Congress, Barcelona.

Jansen, J.M. (2002). *Særtransporters vejslid – Klassificering av køretøjer*. Vejdirektoratet, rapport 269.

Internet 2016-04-13:

http://www.vejdirektoratet.dk/DA/viden_og_data/publikationer/Lists/Publikationer/Attachments/323/rap269.pdf

Långa och tunga lastbilers effekter på transportsystemet. (2008). VTI rapport 605.

Internet 2015-05-18: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:675340/FULLTEXT01.pdf>


Marginalkostnader inom vägtransportsektorn. (2000). Vägverket. Internet 2016-04-29:

http://trafa.se/globalassets/sika/sika-rapport/sr_2000_10_u01.pdf

Mått och vikt för tunga fordon – Grundregler. Transportstyrelsen.

Internet 2015-05-18: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/Yrkestrafik/Gods-och-buss/Matt-och-vikt/Grundregler/>

Odemark, N. (1956). *Om vägens konstruktion vid höga hjultryck*. Statens väginstitut, specialrapport nr. 6.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Pavements Lessons Learned from the AASHO Road Test and Performance of the Interstate Highway System. (2007). Transportation Research Board, TRB Transportation Research Circular E-C 118. Internet 2016-03-29: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec118.pdf>

Road wear from heavy vehicles. Nordiskt Vägforum. NVF rapport 08/2008. Internet 2015-05-18: <http://www.nvfnorden.org/lisalib/getfile.aspx?itemid=261>

Saint-Venant, A.J.C.B. (1855). *Mémoire sur la Torsion des Prismes*. Mem. Divers Savants, 14.

Samarbetsprojekt för tillämpning i Norden av AASHO-undersökningen "STINA". Slutrapport. (1977). Nordiska utredningar, A 1977:2.

SAMKOST - Redovisning av regeringsuppdrag kring trafikens samhällsekonomiska kostnader. (2014). VTI Rapport 836. Internet 2015-05-18: <http://www.vti.se/sv/publikationer/pdf/samkost-redovisning-av-regeringsuppdrag-kring-trafficens-samhallsekonomiska-kostnader.pdf>

Samlad lägesrapport om vinterdäck. (2009). Vägverket. Internet 2016-04-29: <http://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/trafikverkets-uppdrag/regeringsuppdrag-remisser-och-remissvar/Regeringsuppdrag/>

Tekniska krav vid dimensionering och konstruktiv utformning av vägöverbyggnad – TRVK Väg. (2011). Trafikverket. Internet 2015-05-18: <https://online4.ineko.se/online/download.aspx?id=42965>

The AASHO Road Test. Report 5: Pavement Research. (1962). Highway Research Board. Special Report 61E. Washington D.C.

Trafikförordning (1998:1276). Internet 2015-05-18: <http://www.notisum.se/rnp/sls/lag/19981276.htm>

Trafikverkets webbplats. Internet 2015-05-18: <http://www.trafikverket.se/Privat/Vagar-och-jarnvagar/Sveriges-vagnat/>

Trafikverkets årsrapport 2014. Internet 2015-05-18: <https://online4.ineko.se/online/download.aspx?id=47534>

Transporter och kommunikationer. Statistiska centralbyrån. Internet 2015-06-15: http://www.scb.se/statistik/publikationer/ov0904_1750i04_br_11_a01sa0501.pdf

Tyngre fordon på det allmänna vägnätet. (2014). Trafikverket. Internet 2015-05-18: <https://online4.ineko.se/online/download.aspx?id=43137>


Underhållsstandard belagd väg. (2011). Trafikverket. Internet 2015-05-18: <http://www.trafikverket.se/Privat/Vagar-och-jarnvagar/Sa-skoter-vi-vagar1/Underhall-av-belagda-vagar-/Underhallsstandard-for-belagda-vagnatet/>

Varin, P., Matintupa, A., Saarenketo, T. & Granlund, J. (2012). *Impact Analysis of Kaunisvaara – Svappavaara Road Iron Ore Transportation Options.* International Heavy Vehicle Transport Technology Symposia, HVT12. Internet 2015-05-18: <http://road-transport-technology.org/Proceedings/HVT12/Impact%20Analysis%20of%20Kaunisvaara%20.%20Svappavaara%20Road%20Iron%20Ore%20Transportation%20Options%20-%20Varin.pdf>

Varin, P. & Saarenketo, T. (2014). *Effect of axle and tyre configurations on pavement durability – A prestudy.* The ROADDEX Network. Internet 2015-06-24: http://www.roadex.org/wp-content/uploads/2014/10/ROADDEX_Axle_Tyre_Prestudy_15102014%20Final.pdf

Vägars bärighet nära vägkanten. Nordiskt Vägforum. NVF rapport 04/2012. Internet 2015-05-18: <http://www.nvfnorden.org/lisalib/getfile.aspx?itemid=5647>

Vägars och Gators Utformning (VGU) – Krav för vägars och gators utformning. Trafikverket och SKL. Internet 2015-05-18: <http://online4.ineko.se/online/download.aspx?id=43669>

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

BILAGA 1 VÄGSLITAGEBERÄKNINGAR

Fordonskombination 1: 7.5 ton



Tjänstevikten är 4 ton, nyttolasten 3.5 ton och totalvikten 7.5 ton.

Axellasterna är 3.5 och 4 ton, vilket ger hjullaster på 1.75 respektive 2 ton.

Frånvaro av axelgrupp ger $A_i = 1$. Samtliga däcken antas vara 385 mm breda, vilket ger $B_{ij} = 2.19$.

Vägslitageeffekten är $1 * (1 * 2.19 * 0.95 * 1) * (1.75 / 5)^4 / 1 + (1 * 2.19 * 0.95 * 1) * (2 / 5)^4 / 1 = 0.08$ ESAL₁₀. Normerat till nyttolasten 1.75 ton över ena hjulspåret, är vägslitageet 0.048 ESAL₁₀ per ton.

Från avsnittet "Referenskostnad för vägslitage som orsakats av tung lastbilstrafik" hämtas uppgiften att tunga lastbilar orsakar behov av vägunderhåll till en kostnad på 0.11 kr/ESAL₁₀*km. Detta tal, i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonkombination nr 1 i medeltal på 0.02 kr per körd km samt på 0.53 kr/ton*100 km.

Fordonet är mycket skonsamt mot vägen. Observera den låga nyttolasten på 3.5 ton per ekipage, vilket medför mycket hög miljöbelastning, trängsel o.s.v.

Fordonskombination 2: 18 ton



Tjänstevikten är 7 ton, nyttolasten 11 ton och totalvikten 18 ton.

Axellasterna är 7 och 11 ton, vilket ger hjullaster på 3.5 respektive 5.5 ton.

Frånvaro av axelgrupp ger $A_i = 1$.

Framdäcken är enkelmonterade 385 mm breda, vilket ger $B_{ij} = 2.19$.


Bakdäcken är parmonterade, vilket ger $B_{ij} = 1$.

Vägslitageeffekten är $1 * (1 * 2.19 * 0.95 * 1) * (3.5 / 5)^4 / 1 + (1 * 1 * 0.95 * 1) * (5.5 / 5)^4 / 1 = 1.89$ ESAL₁₀.

Normerat till nyttolasten 5.5 ton över ena hjulspåret, är vägslitageet 0.344 ESAL₁₀ per ton.

Från avsnittet "Referenskostnad för vägslitage som orsakats av tung lastbilstrafik" hämtas uppgiften att tunga lastbilar orsakar behov av vägunderhåll till en kostnad på 0.11 kr/ESAL₁₀*km. Detta tal, i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonkombination nr 2 i medeltal på 0.42 kr per körd km samt på 3.8 kr/ton*100 km.

Fordonet är mycket "elakt" mot vägen.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Fordonskombination 3: 26 ton



Tjänstevikten är 9 ton, nyttolasten 17 ton och totalvikten 26 ton.

Styraxeln bär 7 ton och boggiaxelgruppen 19 ton, vilket ger hjullaster på 3.5 respektive 4.75 ton.

Drivaxeln och boggiaxeln sitter med avståndet 1.35 m, vilket för rejält dimensionerad vägkonstruktion ger $A_i = 1.4$ och för klen byggd väg ger $A_i = 2$.

Framdäcken är enkelmonterade 385 mm breda, vilket ger $B_{ij} = 2.19$.

Bakdäcken är parmonterade, vilket ger $B_{ij} = 1$.

Vägslitageeffekten för styraxeln är $1 * (1 * 2.19 * 0.95 * 1) * (3.5 / 5)^4 / 1 = 0.50 \text{ ESAL}_{10}$.

På väg med rejält dimensionerad överbyggnad

Vägslitageeffekten för boggiaxelgruppen är $2 * ((1.4 * 1 * 0.95 * 1) * (4.75 / 5)^4 / 2 = 1.083 \text{ ESAL}_{10}$.

För alla axlar tillsammans är vägslitageeffekten $0.50 + 1.083 = 1.58 \text{ ESAL}_{10}$.

Normerat till nyttolasten 8.5 ton över ena hjulspåret, är vägslitageet 0.186 ESAL_{10} per ton.

Från avsnittet "Referenskostnad för vägslitage som orsakats av tung lastbilstrafik" hämtas uppgiften att tunga lastbilar orsakar behov av vägunderhåll till en kostnad på $0.11 \text{ kr/ESAL}_{10} * \text{km}$. Detta tal, i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonkombination nr 3 i medeltal på 0.35 kr per körd km på rejäla vägar samt på $2.0 \text{ kr/ton} * 100 \text{ km}$.


På klen byggd väg

Vägslitageeffekten för boggiaxelgruppen är $2 * ((2 * 1 * 0.95 * 1) * (4.75 / 5)^4 / 2 = 1.548 \text{ ESAL}_{10}$ per hjulspår.

För alla axlar tillsammans blir vägslitageeffekten $0.50 + 1.548 = 2.05 \text{ ESAL}_{10}$.

Normerat till nyttolasten 8.5 ton över ena hjulspåret, är vägslitageet 0.241 ESAL_{10} per ton.

En referenskostnad på $0.11 \text{ kr/ESAL}_{10} * \text{km}$ i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonkombination nr 3 i medeltal på 0.45 kr per körd km på klena vägar samt på $2.6 \text{ kr/ton} * 100 \text{ km}$.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Fordonskombination 4: 40 ton



Tjänstevikten är 15 ton, nyttolasten 25 ton och totalvikten 40 ton.

Styraxeln bär 6.5 ton, drivaxeln 11.5 ton och trippelaxelgruppen 22 ton, vilket ger hjullaster på 3.25 ton, 5.75 ton respektive 3.67 ton.

Framdäcken är enkelmonterade 385 mm breda, vilket ger $B_{ij} = 2.19$.

Drivdäcken är parmonterade, vilket ger $B_{ij} = 1$.

Trailerdäcken är enkelmonterade 385 mm breda, vilket ger $B_{ij} = 2.19$.

Trailerns trippelaxlar sitter med inbördes avstånd 1.35 m, vilket för rejält dimensionerad vägkonstruktion ger $A_i = 1.9$ och för klen byggd väg ger $A_i = 3$.

Vägslitageeffekten för styraxeln är $1 * (1 * 2.19 * 0.95 * 1) * (3.25 / 5)^4 / 1 = 0.371 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för drivaxeln är mycket hög, eftersom dess lagliga axellast 11.5 ton överstiger referensvärdet 10 ton. Räknat per hjulspår blir vägslitageeffekten: $(1 * 1 * 0.95 * 1) * (5.75 / 5)^4 / 1 = 1.662 \text{ ESAL}_{10}$.

På väg med rejält dimensionerad överbyggnad

Vägslitageeffekten för trippelaxelgruppen är $3 * ((1.9 * 2.19 * 0.95 * 1) * (3.67 / 5)^4) / 3 = 1.143 \text{ ESAL}_{10}$.

För alla axlar tillsammans blir vägslitageeffekten $0.371 + 1.662 + 1.143 = 3.18 \text{ ESAL}_{10}$.

Normerat till nyttolasten 12.5 ton över ena hjulspåret, är vägslitageet 0.254 ESAL_{10} per ton.

Från avsnittet "Referenskostnad för vägslitage som orsakats av tung lastbilstrafik" hämtas uppgiften att tunga lastbilar orsakar behov av vägunderhåll till en kostnad på 0.11 kr/ESAL₁₀*km. Detta tal, i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonkombination nr 4 i medeltal på 0.70 kr per körd km på rejäla vägar samt på 2.8 kr/ton*100 km.

Fordonet är mycket "elakt" mot vägen.

På klen byggd väg


Vägslitageeffekten för trippelaxelgruppen är $3 * ((3 * 2.19 * 0.95 * 1) * (3.67 / 5)^4) / 3 = 1.805 \text{ ESAL}_{10}$.

För alla axlar tillsammans blir vägslitageeffekten $0.371 + 1.662 + 1.805 = 3.84 \text{ ESAL}_{10}$.

Normerat till nyttolasten 12.5 ton över ena hjulspåret, är vägslitageet 0.307 ESAL_{10} per ton.

En referenskostnad på 0.11 kr/ESAL₁₀*km i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonkombination nr 4 i medeltal på 0.84 kr per körd km på klene vägar samt på 3.4 kr/ton*100 km.

Fordonet är mycket "elakt" mot vägen.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Fordonskombination 5: 44 ton



Tjänstevikten är 16 ton, nyttolasten 28 ton och totalvikten 44 ton.

Styraxeln bär 6 ton, drivaxelgruppen 18 ton och trippelaxelgruppen 20 ton, vilket ger hjullaster på 3 ton, 4.5 ton respektive 3.3 ton.

Framdäcken är enkelmonterade 385 mm breda, vilket ger $B_{ij} = 2.19$.

Drivdäcken och boggiaxeldäcken är parmonterade, vilket ger $B_{ij} = 1$.

Trailerdäcken är enkelmonterade 385 mm breda, vilket ger $B_{ij} = 2.19$.

Drivaxeln och boggiaxeln sitter med avståndet 1.35 m, vilket för rejält dimensionerad vägkonstruktion ger $A_i = 1.4$ och för klen byggd väg ger $A_i = 2$.

Trailerns trippelaxlar sitter med inbördes avstånd 1.35 m, vilket för rejält dimensionerad vägkonstruktion ger $A_i = 1.9$ och för klen byggd väg ger $A_i = 3$.

Vägslitageeffekten för styraxeln är $1 * (1 * 2.19 * 0.95 * 1) * (3 / 5)^4 / 1 = 0.27 \text{ ESAL}_{10}$.

På väg med rejält dimensionerad överbyggnad

Vägslitageeffekten för boggiaxelgruppen är $2 * ((1.4 * 1 * 0.95 * 1) * (4.5 / 5)^4 / 2 = 0.873 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för trippelaxelgruppen är $3 * ((1.9 * 2.19 * 0.95 * 1) * (3.3 / 5)^4 / 3 = 0.781 \text{ ESAL}_{10}$.

För alla axlar tillsammans är vägslitageeffekten $0.27 + 0.873 + 0.781 = 1.92 \text{ ESAL}_{10}$.

Normerat till nyttolasten 14 ton över ena hjulspåret, är vägslitageet 0.137 ESAL_{10} per ton.

Från avsnittet "Referenskostnad för vägslitage som orsakats av tung lastbilstrafik" hämtas uppgiften att tunga lastbilar orsakar behov av vägunderhåll till en kostnad på $0.11 \text{ kr/ESAL}_{10} * \text{km}$. Detta tal, i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonkombination nr 5 i medeltal på 0.42 kr per körd km på rejäla vägar samt på $1.5 \text{ kr/ton} * 100 \text{ km}$.

På klen byggd väg


Vägslitageeffekten för boggiaxelgruppen är $2 * ((2 * 1 * 0.95 * 1) * (4.5 / 5)^4 / 2 = 1.247 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för trippelaxelgruppen är $((3 * 2.19 * 0.95 * 1) * (3.3 / 5)^4 / 3 = 1.233 \text{ ESAL}_{10}$.

För alla axlar tillsammans är vägslitageeffekten $0.27 + 1.247 + 1.233 = 2.75 \text{ ESAL}_{10}$.

Normerat till nyttolasten 14 ton över ena hjulspåret, är vägslitageet 0.196 ESAL_{10} per ton.

En referenskostnad på $0.11 \text{ kr/ESAL}_{10} * \text{km}$ i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonkombination nr 5 i medeltal på 0.60 kr per körd km på klena vägar samt på $2.2 \text{ kr/ton} * 100 \text{ km}$.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Fordonskombination 6: 64 ton



Tjänstevikten är 23 ton, nyttolasten 41 ton och totalvikten 64 ton.

Styraxeln bär 6 ton, drivaxelgruppen 20 ton, trippelaxelgruppen 23 ton och karrans boggiaxelgrupp 15 ton. Detta ger hjullaster på 3 ton, 5 ton, 3.83 ton respektive 3.75 ton.

Styrdäcken är enkelmonterade 385 mm breda, vilket ger $B_{ij} = 2.19$.

Dragbilens drivdäck och boggiaxeldäck är parmonterade, vilket ger $B_{ij} = 1$.

Trailerns och karrans däck är enkelmonterade 385 mm breda, vilket ger $B_{ij} = 2.19$.

Drivaxeln och boggiaxeln sitter med avståndet 1.35 m, vilket för rejält dimensionerad vägkonstruktion ger $A_i = 1.4$ och för klen byggd väg ger $A_i = 2$.

Trailerns trippelaxlar sitter med inbördes avstånd 1.35 m, vilket för rejält dimensionerad vägkonstruktion ger $A_i = 1.9$ och för klen byggd väg ger $A_i = 3$.

Karrans boggiaxlar sitter med avståndet 2 m, vilket ger $A_i = 2$.

Vägslitageeffekten för styraxeln är $1 * (1 * 2.19 * 0.95 * 1) * (3 / 5)^4 / 1 = 0.27 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för karrans boggiaxelgrupp är $2 * (2 * 2.19 * 0.95 * 1) * (3.75 / 5)^4 / 2 = 1.317 \text{ ESAL}_{10}$.

På väg med rejält dimensionerad överbyggnad

Vägslitageeffekten för dragbilens boggiaxelgrupp är $2 * ((1.4 * 1 * 0.95 * 1) * (5 / 5)^4 / 2 = 1.333 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för trippelaxelgruppen är $3 * ((1.9 * 2.19 * 0.95 * 1) * (3.83 / 5)^4 / 3 = 1.366 \text{ ESAL}_{10}$.

För alla axlar tillsammans är vägslitageeffekten $0.27 + 1.333 + 1.366 + 1.317 = 4.28 \text{ ESAL}_{10}$.

Normerat till nyttolasten 20 ton över ena hjulspåret, är vägslitageet 0.209 ESAL_{10} per ton.

Från avsnittet "Referenskostnad för vägslitage som orsakats av tung lastbilstrafik" hämtas uppgiften att tunga lastbilar orsakar behov av vägunderhåll till en kostnad på $0.11 \text{ kr/ESAL}_{10} * \text{km}$. Detta tal, i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonkombination nr 6 i medeltal på 0.94 kr per körd km på rejäla vägar samt på $2.3 \text{ kr/ton} * 100 \text{ km}$.

På klen byggd väg


Vägslitageeffekten för dragbilens boggiaxelgrupp är $2 * ((2 * 1 * 0.95 * 1) * (5 / 5)^4 / 2 = 1.900 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för trippelaxelgruppen är $3 * ((3 * 2.19 * 0.95 * 1) * (3.83 / 5)^4 / 3 = 2.156 \text{ ESAL}_{10}$.

För alla axlar tillsammans är vägslitageeffekten $0.27 + 1.90 + 2.156 + 1.317 = 5.64 \text{ ESAL}_{10}$.

Normerat till nyttolasten 18.5 ton över ena hjulspåret, är vägslitageet 0.275 ESAL_{10} per ton.

En referenskostnad på $0.11 \text{ kr/ESAL}_{10} * \text{km}$ i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonkombination nr 6 i medeltal på 1.24 kr per körd km på klena vägar samt på $3.0 \text{ kr/ton} * 100 \text{ km}$.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Fordonskombination 7: 64 ton



Tjänstevikten är 20 ton, nyttolasten 44 ton och totalvikten 64 ton.

Styraxeln bär 7 ton, drivaxelgruppen 19 ton, dollyn 14 ton och trippelaxelgruppen 24 ton. Detta ger hjullaster på 3.5 ton, 4.75 ton, 3.5 ton respektive 4 ton.

Framdäcken är enkelmonterade 385 mm breda, vilket ger $B_{ij} = 2.19$.

Vägslitageeffekten för styraxeln är $1 * (1 * 2.19 * 0.95 * 1) * (3.5 / 5)^4 / 1 = 0.500 \text{ ESAL}_{10}$.

Drivdäcken och boggiaxeldäcken är parmonterade. Den höga hjullasten medför att även trailerns däck är parmonterade (antar även parmonterade däck på dollyn). Detta ger $B_{ij} = 1$.

Drivaxeln och boggiaxeln sitter med avståndet 1.35 m, vilket för rejält dimensionerad vägkonstruktion ger $A_i = 1.4$ och för klen byggd väg ger $A_i = 2$.

Dollyns axlar sitter med avståndet 1.35 m, vilket för rejält dimensionerad vägkonstruktion ger $A_i = 1.4$ och för klen byggd väg ger $A_i = 2$.

Trailerns trippelaxlar sitter med inbördes avstånd 1.35 m, vilket för rejält dimensionerad vägkonstruktion ger $A_i = 1.9$ och för klen byggd väg ger $A_i = 3$.

På väg med rejält dimensionerad överbyggnad

Vägslitageeffekten för lastbilens boggiaxelgrupp är $2 * ((1.4 * 1 * 0.95 * 1) * (4.75 / 5)^4) / 2 = 1.083 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för dollyns boggiaxelgrupp är $2 * ((1.4 * 1 * 0.95 * 1) * (3.5 / 5)^4) / 2 = 0.319 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för trippelaxelgruppen är $3 * ((1.9 * 1 * 0.95 * 1) * (4 / 5)^4) / 3 = 0.739 \text{ ESAL}_{10}$.

För alla axlar tillsammans är vägslitageeffekten $0.500 + 1.083 + 0.319 + 0.739 = 2.64 \text{ ESAL}_{10}$.

Normerat till nyttolasten 20 ton över ena hjulspåret, är vägslitaget 0.120 ESAL_{10} per ton.

Från avsnittet "Referenskostnad för vägslitage som orsakats av tung lastbilstrafik" hämtas uppgiften att tunga lastbilar orsakar behov av vägunderhåll till en kostnad på $0.11 \text{ kr/ESAL}_{10} * \text{km}$. Detta tal, i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonkombination nr 7 i medeltal på 0.58 kr per körd km på rejäla vägar samt på $1.3 \text{ kr/ton} * 100 \text{ km}$.

På klen byggd väg

Vägslitageeffekten för lastbilens boggiaxelgrupp är $2 * ((2 * 1 * 0.95 * 1) * (4.75 / 5)^4) / 2 = 1.548 \text{ ESAL}_{10}$.


Vägslitageeffekten för dollyns boggiaxelgrupp är $2 * ((2 * 1 * 0.95 * 1) * (3.5 / 5)^4) / 2 = 0.456 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för trippelaxelgruppen är $3 * ((3 * 1 * 0.95 * 1) * (4 / 5)^4) / 3 = 1.167 \text{ ESAL}_{10}$.

För alla axlar tillsammans är vägslitageeffekten $0.500 + 1.548 + 0.456 + 1.167 = 3.67 \text{ ESAL}_{10}$.

Normerat till nyttolasten 20 ton över ena hjulspåret, är vägslitaget 0.167 ESAL_{10} per ton.

En referenskostnad på $0.11 \text{ kr/ESAL}_{10} * \text{km}$ i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonkombination nr 7 i medeltal på 0.81 kr per körd km på klene vägar samt på $1.8 \text{ kr/ton} * 100 \text{ km}$.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Fordonskombination 8: 60 ton



Tjänstevikten är 19.5 ton, nyttolasten 40.5 ton och totalvikten 60 ton.

Styraxeln bär 6 ton, drivaxelgruppen 19 ton och släpvagnens boggiaxelgrupper 17.5 ton vardera. Detta ger hjullaster på 3 ton, 4.75 ton respektive 4.375 ton och 4.375 ton.

Framdäcken är enkelmonterade 385 mm breda, vilket ger $B_{ij} = 2.19$.

Vägslitageeffekten för styraxeln är $1 * (1 * 2.19 * 0.95 * 1) * (3 / 5)^4 / 1 = 0.270 \text{ ESAL}_{10}$.

Drivdäcken och boggiaxeldäcken är parmonterade. Den höga hjullasten medför att även släpvagnens däck är parmonterade. Detta ger $B_{ij} = 1$.

Drivaxeln och boggiaxeln sitter med avståndet 1.35 m, vilket för rejält dimensionerad vägkonstruktion ger $A_i = 1.4$ och för klen byggd väg ger $A_i = 2$.

Släpvagnens boggiaxlar sitter med avståndet 1.35 m både fram och bak, vilket för rejält dimensionerad vägkonstruktion ger $A_i = 1.4$ och för klen byggd väg ger $A_i = 2$.

På väg med rejält dimensionerad överbyggnad

Vägslitageeffekten för lastbilens boggiaxelgrupp är $2 * ((1.4 * 1 * 0.95 * 1) * (4.75 / 5)^4 / 2 = 1.083 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för släpvagnens boggiaxelgrupper är vardera $2 * ((1.4 * 1 * 0.95 * 1) * (4.375 / 5)^4 / 2 = 0.780 \text{ ESAL}_{10}$.

För alla axlar tillsammans är vägslitageeffekten $0.270 + 1.083 + 2 * 0.780 = 2.91 \text{ ESAL}_{10}$.

Normerat till nyttolasten 20.25 ton över ena hjulspåret, är vägslitaget 0.144 ESAL_{10} per ton.

Från avsnittet "Referenskostnad för vägslitage som orsakats av tung lastbilstrafik" hämtas uppgiften att tunga lastbilar orsakar behov av vägunderhåll till en kostnad på $0.11 \text{ kr/ESAL}_{10} * \text{km}$. Detta tal, i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonskombination nr 8 i medeltal på $0.64 \text{ kr per körd km}$ på rejäla vägar samt på $1.6 \text{ kr/ton} * 100 \text{ km}$.

På klen byggd väg


Vägslitageeffekten för lastbilens boggiaxelgrupp är $2 * ((2 * 1 * 0.95 * 1) * (4.75 / 5)^4 / 2 = 1.548 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för släpvagnens boggiaxelgrupper är vardera $2 * ((2 * 1 * 0.95 * 1) * (4.375 / 5)^4 / 2 = 1.114 \text{ ESAL}_{10}$.

För alla axlar tillsammans är vägslitageeffekten $0.270 + 1.548 + 2 * 1.114 = 4.04 \text{ ESAL}_{10}$.

Normerat till nyttolasten 20.25 ton över ena hjulspåret, är vägslitaget 0.200 ESAL_{10} per ton.

En referenskostnad på $0.11 \text{ kr/ESAL}_{10} * \text{km}$ i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonskombination nr 8 i medeltal på $0.89 \text{ kr per körd km}$ på klena vägar samt på $2.2 \text{ kr/ton} * 100 \text{ km}$.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Fordonskombination 9: 64 ton



Med kraftiga axlar, hård dämpning och parmonterade däck är tjänstevikten 23 ton, nyttolasten 41 ton och totalvikten 64 ton. Med klenare axlar, mjukare dämpning och enkelmonterade breddäck är tjänstevikten 0.5 ton lägre.

Styraxeln bär 6 ton, drivaxelgruppen 18 ton, linktrailerns boggiaxelgrupp 18 ton och trailerns trippelaxelgrupp 22 ton. Detta ger hjullaster på 3 ton, 4.5 ton respektive 4.5 ton och 3.67 ton.

Framdäcken är enkelmonterade 315 mm breda, vilket ger $B_{ij} = 2.91$.

Vägslitageeffekten för styraxeln är $1 * (1 * 2.91 * 0.95 * 1) * (3 / 5)^4 / 1 = 0.358 \text{ ESAL}_{10}$.

Drivdäcken, boggiaxeldäcken och linktrailerns däck är parmonterade, vilket ger $B_{ij} = 1$.

Drivaxeln och boggiaxeln sitter med avståndet 1.35 m, vilket för rejält dimensionerad vägkonstruktion ger $A_i = 1.4$ och för klen byggd väg ger $A_i = 2$.

Linktrailerns boggiaxlar sitter med avståndet 2 m, vilket ger $A_i = 2$.

Trailerns trippelaxlar sitter med avståndet 1.35 m, vilket för rejält dimensionerad vägkonstruktion ger $A_i = 1.9$ och för klen byggd väg ger $A_i = 3$.

Vägslitageeffekten för linktrailern är $2 * (2 * 1 * 0.95 * 1) * (4.5 / 5)^4 / 2 = 1.247 \text{ ESAL}_{10}$.

Med enkelmonterade breddäck på trailern

Trailerns däck är enkelmonterade 385 mm breda, vilket ger $B_{ij} = 2.19$.

På väg med rejält dimensionerad överbyggnad

Vägslitageeffekten för dragbilens boggiaxelgrupp är $2 * ((1.4 * 1 * 0.95 * 1) * (4.5 / 5)^4 / 2 = 0.873 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för trailerns trippelaxelgrupp är $3 * ((1.9 * 2.19 * 0.95 * 1) * (3.67 / 5)^4 / 3 = 1.143 \text{ ESAL}_{10}$.

För alla axlar tillsammans är vägslitageeffekten $0.358 + 0.873 + 1.247 + 1.143 = 3.62 \text{ ESAL}_{10}$.

Normerat till nyttolasten 20.75 ton över ena hjulspåret, är vägslitageet 0.174 ESAL_{10} per ton.

En referenskostnad på $0.11 \text{ kr/ESAL}_{10} \cdot \text{km}$ i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonskombination nr 9 i medeltal på 0.80 kr per körd km med enkelmonterade breddäck på trailern på rejäla vägar samt på $1.9 \text{ kr/ton} \cdot 100 \text{ km}$.


På klen byggd väg

Vägslitageeffekten för dragbilens boggiaxelgrupp är $2 * ((2 * 1 * 0.95 * 1) * (4.5 / 5)^4 / 2 = 1.247 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för trailerns trippelaxelgrupp är $3 * ((3 * 2.19 * 0.95 * 1) * (3.67 / 5)^4 / 3 = 1.805 \text{ ESAL}_{10}$.

För alla axlar tillsammans är vägslitageeffekten $0.358 + 1.247 + 1.247 + 1.805 = 4.66 \text{ ESAL}_{10}$.

Normerat till nyttolasten 20.75 ton över ena hjulspåret, är vägslitageet 0.224 ESAL_{10} per ton.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

En referenskostnad på 0.11 kr/ESAL₁₀*km i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonskombination nr 9 i medeltal på 1.02 kr per körd km med enkelmonterade breddäck på trailern på klena vägar samt på 2.5 kr/ton*100 km.

Med parmonterade däck på trailern

Trailerns däck är parmonterade, vilket ger $B_{ij} = 1$.

På väg med rejält dimensionerad överbyggnad

Vägslitageeffekten för dragbilens boggiaxelgrupp är $2 * ((1.4 * 1 * 0.95 * 1) * (4.5 / 5)^4 / 2 = 0.873$ ESAL₁₀.

Vägslitageeffekten för trailerns trippelaxelgrupp är $3 * ((1.9 * 1 * 0.95 * 1) * (3.67 / 5)^4 / 3 = 0.522$ ESAL₁₀.

För alla axlar tillsammans är vägslitageeffekten $0.358 + 0.873 + 1.247 + 0.522 = 3.00$ ESAL₁₀.

Normerat till nyttolasten 20.5 ton över ena hjulspåret, är vägslitaget 0.146 ESAL₁₀ per ton.

En referenskostnad på 0.11 kr/ESAL₁₀*km i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonskombination nr 9 i medeltal på 0.66 kr per körd km med parmonterade däck på trailern på rejäla vägar samt på 1.6 kr/ton*100 km.

På klent byggd väg


Vägslitageeffekten för dragbilens boggiaxelgrupp är $2 * ((2 * 1 * 0.95 * 1) * (4.5 / 5)^4 / 2 = 1.247$ ESAL₁₀.

Vägslitageeffekten för trailerns trippelaxelgrupp är $3 * ((3 * 1 * 0.95 * 1) * (3.67 / 5)^4 / 3 = 0.824$ ESAL₁₀.

För alla axlar tillsammans är vägslitageeffekten $0.358 + 1.247 + 1.247 + 0.824 = 3.68$ ESAL₁₀.

Normerat till nyttolasten 20.5 ton över ena hjulspåret, är vägslitaget 0.179 ESAL₁₀ per ton.

En referenskostnad på 0.11 kr/ESAL₁₀*km i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonskombination nr 9 i medeltal på 0.81 kr per körd km med parmonterade däck på trailern på klena vägar samt på 2.0 kr/ton*100 km.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Fordonskombination 10: 74 ton



Med kraftiga axlar, hård dämpning och parmonterade däck är tjänstevikten 23 ton, nyttolasten 51 ton och totalvikten 74 ton. Med klenare axlar, mjukare dämpning och enkelmonterade breddäck är tjänstevikten 0.5 ton lägre.

Styraxeln bär 8 ton, drivaxelgruppen 24 ton, dollyns boggiaxelgrupp 18 ton och trailerns trippelaxelgrupp 24 ton. Detta ger hjullaster på 4 ton, 4 ton respektive 4.5 ton och 4 ton.

Drivaxlarna och stödaxeln sitter med avståndet 1.35 m, vilket för rejält dimensionerad vägkonstruktion ger $A_i = 1.9$ och för klen byggd väg ger $A_i = 3$.

Dollyns boggiaxlar sitter med avståndet 1.35 m, vilket för rejält dimensionerad vägkonstruktion ger $A_i = 1.4$ och för klen byggd väg ger $A_i = 2$.

Trailerns trippelaxlar sitter med avståndet 1.35 m, vilket för rejält dimensionerad vägkonstruktion ger $A_i = 1.9$ och för klen byggd väg ger $A_i = 3$.

Framdäcken är enkelmonterade 385 mm breda, vilket ger $B_{ij} = 2.19$.

Drivdäcken och stödaxeldäcken, liksom dollyns däck, är parmonterade. Detta ger $B_{ij} = 1$.

För att klara 8 ton på styraxeln, krävs 8 Bar däcktryck. Detta ger korrektionsfaktor $D_{ij} = 1.18$ på rejält dimensionerade vägkonstruktioner, respektive $D_{ij} = 1.3$ på klen byggda vägar.

Med enkelmonterade breddäck på trailern

Trailerns däck är enkelmonterade 385 mm breda, vilket ger $B_{ij} = 2.19$.

För att klara 8 ton med breddäck på trippelaxlarna, krävs 8 Bar däcktryck. Detta ger korrektionsfaktor $D_{ij} = 1.18$ på rejält dimensionerade vägkonstruktioner, respektive $D_{ij} = 1.3$ på klen byggda vägar.

På väg med rejält dimensionerad överbyggnad

Vägslitageeffekten för styraxeln är $1 * (1 * 2.19 * 0.95 * 1.18) * (4 / 5)^4 / 1 = 1.006 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för lastbilens trippelaxelgrupp är $3 * ((1.9 * 2.19 * 0.95 * 1) * (4 / 5)^4 / 3 = 0.739 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för dollyns boggiaxelgrupp är $2 * ((1.4 * 1 * 0.95 * 1) * (4.5 / 5)^4 / 2 = 0.873 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för trailerns trippelaxelgrupp är $3 * ((1.9 * 2.19 * 0.95 * 1.18) * (4 / 5)^4 / 3 = 1.911 \text{ ESAL}_{10}$.

För alla axlar tillsammans är vägslitageeffekten $1.006 + 0.739 + 0.873 + 1.911 = 4.53 \text{ ESAL}_{10}$.


Normerat till nyttolasten 25.75 ton över ena hjulspåret, är vägslitaget 0.176 ESAL_{10} per ton.

En referenskostnad på $0.11 \text{ kr/ESAL}_{10} \cdot \text{km}$ i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonskombination nr 10 i medeltal på 1.00 kr per körd km med enkelmonterade breddäck på trailern på rejäla vägar samt på $1.9 \text{ kr/ton} \cdot 100 \text{ km}$.

På klen byggd väg

Vägslitageeffekten för styraxeln är $1 * (1 * 2.19 * 0.95 * 1.3) * (4 / 5)^4 / 1 = 1.108 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för lastbilens trippelaxelgrupp är $3 * ((3 * 1 * 0.95 * 1) * (4 / 5)^4 / 3 = 1.167 \text{ ESAL}_{10}$.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Vägslitageeffekten för dollyns boggiaxelgrupp är $2 * ((2 * 1 * 0.95 * 1) * (4.5 / 5)^4 / 2 = 1.247 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för trailerns trippelaxelgrupp är $3 * ((3 * 2.19 * 0.95 * 1.3) * (4 / 5)^4 / 3 = 3.323 \text{ ESAL}_{10}$.

För alla axlar tillsammans är vägslitageeffekten $1.108 + 1.167 + 1.247 + 3.323 = 6.85 \text{ ESAL}_{10}$.

Normerat till nyttolasten 25.75 ton över ena hjulspåret, är vägslitageet 0.266 ESAL_{10} per ton.

En referenskostnad på $0.11 \text{ kr/ESAL}_{10} * \text{km}$ i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonskombination nr 10 i medeltal på 1.51 kr per körd km med enkelmonterade breddäck på trailern på klana vägar samt på $2.9 \text{ kr/ton} * 100 \text{ km}$.

Med parmonterade däck på trailern

Trailerns däck är parmonterade, vilket ger $B_{ij} = 1$.

På väg med rejält dimensionerad överbyggnad

Vägslitageeffekten för styraxeln är $1 * (1 * 2.19 * 0.95 * 1.18) * (4 / 5)^4 / 1 = 1.006 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för lastbilens trippelaxelgrupp är $3 * ((1.9 * 2.19 * 0.95 * 1) * (4 / 5)^4 / 3 = 0.739 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för dollyns boggiaxelgrupp är $2 * ((1.4 * 1 * 0.95 * 1) * (4.5 / 5)^4 / 2 = 0.873 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för trailerns trippelaxelgrupp är $3 * ((1.9 * 1 * 0.95 * 1) * (4 / 5)^4 / 3 = 0.739 \text{ ESAL}_{10}$.

För alla axlar tillsammans är vägslitageeffekten $1.006 + 0.739 + 0.873 + 0.739 = 3.36 \text{ ESAL}_{10}$.

Normerat till nyttolasten 25.5 ton över ena hjulspåret, är vägslitageet 0.132 ESAL_{10} per ton.

En referenskostnad på $0.11 \text{ kr/ESAL}_{10} * \text{km}$ i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonskombination nr 10 i medeltal på 0.74 kr per körd km med parmonterade däck på trailern på rejäla vägar samt på $1.4 \text{ kr/ton} * 100 \text{ km}$.

På klen byggd väg

Vägslitageeffekten för styraxeln är $1 * (1 * 2.19 * 0.95 * 1.3) * (4 / 5)^4 / 1 = 1.108 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för lastbilens trippelaxelgrupp är $3 * ((3 * 1 * 0.95 * 1) * (4 / 5)^4 / 3 = 1.167 \text{ ESAL}_{10}$.


Vägslitageeffekten för dollyns boggiaxelgrupp är $2 * ((2 * 1 * 0.95 * 1) * (4.5 / 5)^4 / 2 = 1.247 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för trailerns trippelaxelgrupp är $3 * ((3 * 1 * 0.95 * 1) * (4 / 5)^4 / 3 = 1.167 \text{ ESAL}_{10}$.

För alla axlar tillsammans är vägslitageeffekten $1.108 + 1.167 + 1.247 + 1.167 = 4.69 \text{ ESAL}_{10}$.

Normerat till nyttolasten 25.5 ton över ena hjulspåret, är vägslitageet 0.184 ESAL_{10} per ton.

En referenskostnad på $0.11 \text{ kr/ESAL}_{10} * \text{km}$ i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonskombination nr 10 i medeltal på 1.03 kr per körd km med parmonterade däck på trailern på klana vägar samt på $2.0 \text{ kr/ton} * 100 \text{ km}$.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Fordonskombination 11: 74 ton



Med kraftiga axlar, hård dämpning och parmonterade däck är tjänstevikten 25 ton, nyttolasten 49 ton och totalvikten 74 ton. Med klenare axlar, mjukare dämpning och enkelmonterade breddäck är tjänstevikten 0.5 ton lägre.

Styraxeln bär 6 ton, drivaxelgruppen 16 ton, trailerns trippelaxelgrupp 20 ton, släpvagnens boggiaxelgrupp 12 ton och släpvagnens trippelaxelgrupp 20 ton. Detta ger hjullaster på 3 ton, 4 ton, 3.33 ton respektive 3 ton och 3.33 ton.

Dragbilens boggiaxelgrupp har inbördes axelavstånd 1.35 m, vilket för rejält dimensionerad vägkonstruktion ger $A_i = 1.4$ och för klen byggd väg ger $A_i = 2$.

Framdäcken är enkelmonterade 315 mm breda, vilket ger $B_{ij} = 2.91$.

Vägslitageeffekten för styraxeln är $1 * 1 * 2.91 * 0.95 * 1) * (3 / 5)^4 / 1 = 0.358 \text{ ESAL}_{10}$.

Dragbilens boggiaxelgrupp har parmonterade däck, vilket ger $B_{ij} = 1$.

Däckens lufttryck är 7 Bar, vilket medför att korrektionsfaktorn D_{ij} är lika med 1.

Med enkelmonterade breddäck på trailern och släpvagnen

Trailerns och släpvagnens däck är enkelmonterade 385 mm breda, vilket ger $B_{ij} = 2.19$.

På väg med rejält dimensionerad överbyggnad

Vägslitageeffekten för dragbilens boggiaxelgrupp är $2 * ((1.4 * 1 * 0.95 * 1) * (4 / 5)^4 / 2 = 0.545 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för trailerns trippelaxelgrupp är $3 * ((1.9 * 2.19 * 0.95 * 1) * (3.33 / 5)^4 / 3 = 0.781 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för släpvagnens boggiaxelgrupp är $2 * ((1.4 * 2.19 * 0.95 * 1) * (3 / 5)^4 / 2 = 0.377 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för släpvagnens trippelaxelgrupp är $3 * ((1.9 * 2.19 * 0.95 * 1) * (3.33 / 5)^4 / 3 = 0.781 \text{ ESAL}_{10}$.

För alla axlar tillsammans är vägslitageeffekten $0.358 + 0.545 + 0.781 + 0.377 + 0.781 = 2.84 \text{ ESAL}_{10}$.

Normerat till nyttolasten 24.75 ton över ena hjulspåret, är vägslitageet 0.115 ESAL_{10} per ton.

En referenskostnad på $0.11 \text{ kr/ESAL}_{10} * \text{km}$ i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonskombination nr 11 i medeltal på 0.62 kr per körd km med enkelmonterade breddäck på trailern på rejäla vägar samt på $1.3 \text{ kr/ton} * 100 \text{ km}$.


På klen byggd väg

Vägslitageeffekten för dragbilens boggiaxelgrupp är $2 * ((2 * 1 * 0.95 * 1) * (4 / 5)^4 / 2 = 0.778 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för trailerns trippelaxelgrupp är $3 * ((3 * 2.19 * 0.95 * 1) * (3.33 / 5)^4 / 3 = 1.233 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för släpvagnens boggiaxelgrupp är $2 * ((2 * 2.19 * 0.95 * 1) * (3 / 5)^4 / 2 = 0.809 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för släpvagnens trippelaxelgrupp är $3 * ((3 * 2.19 * 0.95 * 1) * (3.33 / 5)^4 / 3 = 1.233 \text{ ESAL}_{10}$.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

För alla axlar tillsammans är vägslitageeffekten $0.358 + 0.778 + 1.233 + 0.809 + 1.233 = 4.41 \text{ ESAL}_{10}$.

Normerat till nyttolasten 24.75 ton över ena hjulspåret, är vägslitageet 0.178 ESAL_{10} per ton.

En referenskostnad på $0.11 \text{ kr/ESAL}_{10} \cdot \text{km}$ i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonskombination nr 11 i medeltal på 0.97 kr per körd km med enkelmonterade breddäck på trailern på klana vägar samt på $1.96 \text{ kr/ton} \cdot 100 \text{ km}$.

Med parmonterade däck på trailern och släpvagnen

På väg med rejält dimensionerad överbyggnad

Vägslitageeffekten för dragbilens boggiaxelgrupp är $2 * ((1.4 * 1 * 0.95 * 1) * (4 / 5)^4 / 2 = 0.545 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för trailerns trippelaxelgrupp är $3 * ((1.9 * 1 * 0.95 * 1) * (3.33 / 5)^4 / 3 = 0.357 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för släpvagnens boggiaxelgrupp är $2 * ((1.4 * 1 * 0.95 * 1) * (3 / 5)^4 / 2 = 1.72 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för släpvagnens trippelaxelgrupp är $3 * ((1.9 * 1 * 0.95 * 1) * (3.33 / 5)^4 / 3 = 0.357 \text{ ESAL}_{10}$.

För alla axlar tillsammans är vägslitageeffekten $0.358 + 0.545 + 0.357 + 1.72 + 0.357 = 1.79 \text{ ESAL}_{10}$.

Normerat till nyttolasten 24.5 ton över ena hjulspåret, är vägslitageet 0.073 ESAL_{10} per ton.

En referenskostnad på $0.11 \text{ kr/ESAL}_{10} \cdot \text{km}$ i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonskombination nr 11 i medeltal på 0.39 kr per körd km med parmonterade däck på trailern på rejäla vägar samt på $0.80 \text{ kr/ton} \cdot 100 \text{ km}$.

På klent byggd väg

Vägslitageeffekten för dragbilens boggiaxelgrupp är $2 * ((2 * 1 * 0.95 * 1) * (4 / 5)^4 / 2 = 0.778 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för trailerns trippelaxelgrupp är $3 * ((3 * 1 * 0.95 * 1) * (3.33 / 5)^4 / 3 = 0.563 \text{ ESAL}_{10}$.


Vägslitageeffekten för släpvagnens boggiaxelgrupp är $2 * ((2 * 1 * 0.95 * 1) * (3 / 5)^4 / 2 = 0.369 \text{ ESAL}_{10}$.

Vägslitageeffekten för släpvagnens trippelaxelgrupp är $3 * ((3 * 1 * 0.95 * 1) * (3.33 / 5)^4 / 3 = 0.563 \text{ ESAL}_{10}$.

För alla axlar tillsammans är vägslitageeffekten $0.358 + 0.778 + 0.563 + 0.369 + 0.563 = 2.63 \text{ ESAL}_{10}$.

Normerat till nyttolasten 24.5 ton över ena hjulspåret, är vägslitageet 0.107 ESAL_{10} per ton.

En referenskostnad på $0.11 \text{ kr/ESAL}_{10} \cdot \text{km}$ i kombination med vägslitageeffekt enligt ovan (omräknad till en passage, d.v.s. slitage i BÅDA hjulspår), ger tillsammans en vägunderhållskostnad för fordonskombination nr 11 i medeltal på 0.58 kr per körd km med parmonterade däck på trailern på klana vägar samt på $1.2 \text{ kr/ton} \cdot 100 \text{ km}$.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

BILAGA 2 BERÄKNING AV VÄGBELASTANDE TONKM

VTI (2008) uppskattade att ett femaxligt 40 tons EU-trailerekipage motsvarar så lite som 1.3 standardaxlar. Denna uppskattning är ett mycket missvisande, då det felar flerfaldigt. Huvudsaklig orsak är att VTI:s kalkyl förutsatte jämnt fördelad last på alla axlar, det vill säga inte mer än 8 ton på någon axel.

Det första felet i VTIs kalkyl är att den inte beaktar att dragbilen lagligt har så mycket som 11,5 ton på drivaxeln på BK1-vägar. Det andra felet är att VTI (2008) antog bara 36 ton bruttovikt, istället för fordonstypens normala maximala bruttovikt 40 ton.


Ett tredje fel (eller snarare problem) är att VTI:s uppskattning inte beaktat att dessa semitrailerekipage mycket ofta, oavsiktligt eller avsiktligt, körs med fel lastfördelning. Ofta körs ekipagen med för stor andel av tyngden framtill i trailern. Dragbilens drivaxel får då överlast, utan att ekipagets lagliga bruttovikt för den skull behöver vara överskriden. De "Weigh-In-Motion" viktmetningar som Trafikverket systematiskt genomför, visar år efter år att en hög andel av de kraftigt vägslitage-framkallande illegala överlaster som mätts upp inte är orsakade av överskriden bruttovikt för ekipage, utan av att enskild axel har varit överlastad. Ett särskilt stort problem är att en betydande andel av EU-trailerekipagen har långt högre last än lagliga 11,5 ton på drivaxeln, se exemplet från Mjölby i Figur 37. I flera fall uppmättes över 15 ton på drivaxeln, vilket motsvarar $(15/10)^4 = 5$ standardaxlar enbart för den axeln.

Ett fjärde kalkylfel är att kalkylen förbiset att EU-trailerekipagen regelmässigt har enkelmonterade breddäck på semitrailern. Detta till skillnad från många svenska timmerbilar, vars släpvagnar har parmonterade däck och därmed lägre kontaktryck som skonar vägen. Denna skillnad framkommer inte med beräkningar utförda med den version av formel för fjärdepotensregeln som använts av VTI (2008).

För en handfull typer av ekipage har antalet standardaxlar respektive normerat vägslitage, hämtat från *Bilaga 1 Vägslitageberäkningar*, sammanställts i *Tabell 5*.

Tabell 5 Vägslitage från olika typer av fullastade lastbilsekipage på klen byggd väg

Lastbilsekipage	Antal 10 tons standardaxlar per hjulspår på klen byggd väg	Nyttolast [ton]	Nyttolast/Tjänstevikt	Vägslitage [Standardaxlar per ton nyttolast] per hjulspår
40 ton tvåaxlad dragbil med EU-trailer	3.8	25	1.7	0,152
60 ton lastbil med släpvagn	4.0	40.5	2,1	0.099
64 ton dragbil med semitrailer och kärre, FK6	5.6	41	1.8	0.137
74 ton lastbil med släpvagn, FK10	4.7	51	2,2	0,092

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

Utifrån data i Tabell 5 beräknas att med olika lastbilar leder en fraktoppgift omfattande körning av 5 000 ton timmer en sträcka av 100 km till följande vägbelastande summor av transportarbete och tjänsteviktsskörning [tonkm]:


40 ton EU-trailerekipage med 25 ton nyttolast måste köra 200 rundor, vilket leder till $200 \times 40 \times 100 = 800\,000$ tonkm lastat och $200 \times 15 \times 100 = 300\,000$ tonkm olastat; totalt 1 100 000 tonkm.

60 ton lastbil med släpvagn med 40.5 ton nyttolast måste köra 124 rundor, vilket leder till $124 \times 60 \times 100 = 741\,800$ tonkm lastat och $124 \times 19.5 \times 100 = 241\,800$ tonkm olastat; totalt 983 600 tonkm.

64 ton lastbil med släpvagn med 41 ton nyttolast måste köra 122 rundor, vilket leder till $122 \times 64 \times 100 = 780\,600$ tonkm lastat och $122 \times 23 \times 100 = 280\,600$ tonkm olastat; totalt 1 061 200 tonkm.

74 ton lastbil med släpvagn med 51 ton nyttolast måste köra 99 rundor, vilket leder till $99 \times 74 \times 100 = 727\,700$ tonkm lastat och $99 \times 23 \times 100 = 227\,700$ tonkm olastat; totalt 955 400 tonkm.

För att lösa transportuppgiften om 5000 ton på 100 km, belastas alltså vägen av både nyttolast och tjänstevikt till ett sammanlagt bruttotransportarbete. Detta vägslitande transportarbete blir klart lägst för 74-tonsekipaget, följt av 60-tonsekipaget (+3 %), 64-tonsekipaget (+11 %) och till sist värstingen 40-tonsekipaget (+15 %). Resultaten visas grafiskt i Figur 35.

Uppdragsnr: 10228211	Förkortad väglivslängd	
Datum: 2016-05-23		
Reviderad: 2017-06-28		
Författare: J. Granlund & J. Lang	Status: Slutrapport, reviderad	

FÖRKORTAD VÄGLIVSLÄNGD – ORSAKER OCH KOSTNADER

Denna utredning är utförd vid WSP på uppdrag av Volvo Lastvagnar, Mercedes Benz Sverige samt Sveriges Åkeriföretag. Skriften syftar till att ge läsarna, i första hand beslutsfattare samt alla som betalar skatter och avgifter, ökad förståelse för orsakssammanhang om förkortad livslängd för väginfrastruktur, inklusive hur vägslitage och nedbrytning av väginfrastruktur uppstår. Beskrivningen sammanställer kunskap från vetenskapligt välgrundade referenser. Ett genomgående huvudbudskap i denna skrift är att kontaktrycket under däcken är den fordonsfaktor som är mest avgörande för vägbanans slitage från tunga lastbilar. Detta avgörs av axellasten tillsammans med axel- och däckkonfigurationerna. Ett annat huvudbudskap är att förkortad väghållbarhet beror av många andra faktorer än trafikbelastningen; klimat, åldring, brister i vägens uppbyggnad och underhåll, allt för sent utfört underhåll, med mera. I utredningen har vägslitage beräknats med en version av fjärdepotensregeln som medger analys av inverkan från axel- och däckkonfigurationer. Detaljerade beräkningar har utförts för 11 fordonskombinationer. Resultaten visar att vägslitage kan mer än halveras genom att på fjärrtransporter byta EU-semitrailer bakom tvåaxlad dragbil (totalvikt 40 ton), mot modulekipage som fraktar avsevärt mer gods (totalvikt 60 - 74 ton). Allra lägst vägslitage per ton nyttolast fås med 74-ton ekipage på välbyggda vägar. Resultaten visar att enkelmonterade breddäck ger högre vägslitage, jämfört med parmonterade däck. Beräkningarna visar ökning på mellan 13 % och 57 % på normalt välbyggda vägar i bärighetsklass BK1. Observera att detta gäller enbart medan vägbanan är jämn. Orsaken är att på ojämn väg kan parmonterade däck tvärtom slita mer än enkelmonterade breddäck, i synnerhet om tvillingdäcken har olika lufttryck eller olika diameter. Resultaten visar också att vägslitage ökar kraftigt (upp emot 50 %) på underdimensionerade vägar, jämfört med på rejält dimensionerade vägkonstruktioner. Detta visar potentialen för att minska vägslitage genom att förstärka tungt trafikerade, men klenlytt byggda, vägsträckor. Utredningen kom fram till en referenskostnad för vägslitage på 0.11 kr/ESAL₁₀*km. Ett typiskt tungt fordon med vägslitageeffekt på 1.3 tiotons standardaxlar (ESAL₁₀), vållar vägslitage till en kostnad på ca 1.3 * 0.11 = 0.143 kr/km eller 1.43 kr/mil. Lastbilstypen är den faktor som påverkar vägunderhållskostnaden mest. Ekipagens vägslitagekostnad varierar nära tiofaldigt, från 0.53 till 3.78 kr/ton*100km. I särklass högst vägslitagekostnad orsakas av tungt lastad tvåaxlig lastbil samt 40 tons EU-semitrailer med tvåaxlig dragbil. Av fordonen med mer än 3.5 ton lastkapacitet ges allra lägst vägslitagekostnad av ett 74 tons ekipage.



Civilingenjör Johan Granlund är av IPMA certifierad senior projektledare och vägteknisk expert. Johan har arbetat med vägars bärighet, färdkvalitet och trafiksäker framkomlighet sedan 1991. Johan har uppfunnit två patenterade metoder för att mäta vägegenskaper. Johan har ansvarat för tre framgångsrika projekt inom EU ROADDEX. Johan är ledamot i Nordiskt Vägforums utskott Trafiksäkerhet och Transporter, samt styrelseledamot i International Forum for Road Transport Technology. På kundens uppdrag deltar Johan i test- & demonstrationsprojekt så som "Ett Coil Till" (med 74 tons ekipage) och "En Trave Till" (90 tons ekipage). Johan är lärare i Asfaltskolan och föreläser vid flera universitet, är eftertraktad talare och bloggande tankeledare inom vägteknik. Johan har skrivit artiklar i internationella vetenskapliga tidskrifter inom såväl fordonsteknik som väg- och flygfältsteknik.



Civilingenjör Johan Lang är expert inom underhåll av vägar och har sedan 1980 arbetat med underhåll av vägar. Detta inkluderar utveckling av vägtekniska och samhällsekonomiska modeller, mätteknik, analys, systemutveckling samt driftsättning så att utvecklingsresultat kommer till praktiskt användning. Johan har också varit Trafikverkets representant i pilotprojektet "En Trave Till" (ETT-projektet), en pilottest med 90-tons timmerlastbilar. Johan föreläser ofta internationellt samt på högskolor i Sverige. Johan är medlem i Nordiskt Vägforums utskott Drift och Underhåll och har deltagit i EU-projekten Toolbox, COST354 (Performance Indicators), COST343 (Reduction of Road Closures by Improved Maintenance), och har varit ansvarig för arbetet med projektet "Maintenance Methods and Strategies" i PIARC (World Road Association).